



**Rafael Pinheiro do
Rego**

**Melhoria contínua numa linha de montagem de
caldeiras**



**Rafael Pinheiro do
Rego**

**Melhoria contínua numa linha de montagem de
caldeiras**

Relatório de Projeto apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial, realizado sob a orientação científica da Professora Doutora Ana Raquel Reis Couto Xambre, Professora Auxiliar do Departamento de Economia, Gestão, Engenharia Industrial e Turismo da Universidade de Aveiro.

Dedico o presente relatório aos meus pais e irmão, pelo apoio incondicional que sempre me deram, pela dedicação dispensada na minha educação e crescimento pessoal, por me tornarem no homem que hoje sou. O meu sucesso é o reflexo do trabalho que tiveram.

o júri

presidente

Professora Doutora Helena Maria Pereira Pinto Dourado e Alvelos

Professora Auxiliar do Departamento de Economia, Gestão, Engenharia Industrial e Turismo da Universidade de Aveiro

Professora Doutora Vera Lúcia Miguéis Oliveira e Silva

Professora Auxiliar do Departamento de Engenharia e Gestão Industrial da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Professora Doutora Ana Raquel Reis Couto Xambre

Professora Auxiliar do Departamento de Economia, Gestão, Engenharia Industrial e Turismo da Universidade de Aveiro

agradecimentos

Agradeço à Bosch Termotecnologia, S.A. pela confiança que me foi depositada para a elaboração deste projeto, em particular ao Eng.º Mário Gaspar por todo o suporte que me deu ao longo do meu estágio curricular e ao Eng.º Alexandre Cardoso por todos os conhecimentos que me transmitiu, que foram essenciais para o desenvolvimento deste projeto. Quero agradecer a toda a equipa que me apoiou desde o início e com os quais adquiri a experiência necessária à realização do projeto.

Agradeço à minha orientadora da Universidade de Aveiro, Professora Ana Raquel Xambre, pelo apoio que me deu em todas as etapas deste projeto e que foi essencial à elaboração deste relatório.

Agradeço aos meus pais e irmão, pelo apoio incondicional que sempre me deram e por todas as oportunidades que me foram proporcionadas e que me tornaram a pessoa que hoje sou. Agradeço a toda a minha família, especialmente à minha prima, Ângela Machado, por todo o suporte que me deu para o desenvolvimento deste relatório.

Por fim, agradeço a todos os meus amigos e colegas que me acompanharam ao longo destes anos, pelo suporte e pelos bons momentos que me proporcionaram.

palavras-chave

Lean, Controlo de Qualidade, Poka-Yoke, Jidoka

resumo

Este projeto tem como principal objetivo a implementação de ferramentas de melhoria contínua numa empresa produtora de esquentadores e caldeiras. Pretende-se a eliminação de desperdícios de uma linha de montagem de caldeiras através da implementação de ferramentas *Poka-Yoke* e sistemas *Jidoka*, que garantam a qualidade da montagem dessas caldeiras. Com estas ferramentas espera-se que o controlo de qualidade seja efetuado no posto e que a execução adequada das tarefas seja validada pelo sistema automático da linha.

keywords

Lean, Quality Control, *Poka-Yoke*, *Jidoka*

abstract

The goal of this project is the implementation of continuous improvement tools on a factory that produces boilers and water heaters. It's intended to eliminate waste in a boiler assembly line through the implementation of *Poka-Yoke* tools and *Jidoka* systems that ensure the quality of the boilers components and assembly process. With these tools it's expected that the quality control is guaranteed on the workstation and that the correct execution of the tasks is validated by the line's automatic system.

Índice

Capítulo 1 - Introdução	1
1.1 - Caracterização sumária do projeto	3
1.2 - Metodologia	3
1.3 - Estrutura do relatório	4
Capítulo 2 - Contextualização teórica	5
2.1 - Introdução ao <i>Lean</i>	7
2.2 - <i>Toyota Production System</i>	8
2.3 - Desperdícios.....	9
2.4 - Ciclo PDCA.....	11
2.5 - Melhoria contínua (<i>Kaizen</i>).....	14
2.6 - FMEA	15
2.7 - Poka-Yoke	17
2.8 - Sistemas <i>Jidoka</i>	19
Capítulo 3 - Caso de estudo	21
3.1 - Apresentação da empresa.....	23
3.2 - Estrutura da empresa	24
3.3 - Motivação e metodologia do projeto	28
3.4 - Caracterização do estado atual	29
3.5 - Resultados da análise à Auditoria Avançada.....	35
3.6 - Análise dos modos de falha.....	40
a) Clip mal montado.....	41
b) Ausência de rebites no caixilho.....	43
c) Ausência da barra inferior.....	45
d) Ausência de passa-cabos.....	46

e) Ausência de anti-cortes.....	46
f) Ausência de etiqueta no bloco hidráulico	47
g) Ausência de filtro de água	48
3.7 - Soluções propostas.....	49
a. Montagem dos clips	50
b. Processo de rebitagem do caixilho.....	52
c. Montagem da barra inferior	53
d. Montagem dos passa-cabos	54
e. Montagem dos anti-cortes.....	55
f. Colocação de etiqueta no bloco hidráulico	57
g. Montagem do filtro de água.....	58
3.8 - Acompanhamento dos resultados da Auditoria Avançada.....	58
3.9 - Gestão do projeto.....	62
Capítulo 4 - Conclusão	69
4.1 - Conclusões gerais do projeto	71
4.2 - Passos futuros	73
Bibliografia	75
Anexos	79
Anexo A – Folha de inspeção visual no posto.....	81
Anexo B – Acompanhamento mensal dos defeitos (Auditoria Avançada)	85

Índice de Ilustrações

Figura 1 - Os 5 princípios <i>Lean</i> (IBM, 2016)	7
Figura 2 - Casa do TPS (Liker, 2004)	9
Figura 3 - Ciclo de Shewhart.....	12
Figura 4 - Ciclo de Deming	12
Figura 5 - Estrutura organizacional da Bosch Termotecnologia, S.A.....	25
Figura 6 - <i>Layout</i> da Bosch Termotecnologia, SA	27
Figura 7 - Número de referências por família	30
Figura 8 - <i>Layout</i> da linha 7	31
Figura 9 - Folha de seguimento da Auditoria Avançada.....	33
Figura 10 - Análise geral dos "5 Porquês"	34
Figura 11 - Percentagem de ocorrência total de caldeiras defeituosas (T1 + T2).....	37
Figura 12 - Análise de Pareto	39
Figura 13 - Posição correta e incorreta de um clip no bloco hidráulico.....	41
Figura 14 - Posto 12, montagem do tubo de retorno HU1	43
Figura 15 - Posição correta e incorreta do tubo de retorno HU1	43
Figura 16 - Correta e incorreta rebitagem do caixilho.....	44
Figura 17 - Presença e ausência da barra inferior	45
Figura 18 - Presença e ausência do passa-cabos	46
Figura 19 - Presença e ausência de anti-cortes	47
Figura 20 - Presença e ausência da etiqueta do bloco hidráulico	47
Figura 21 - Posto 23 da linha 7	48
Figura 22 - Presença e ausência do filtro de água	49
Figura 23 - Chave utilizada para a colocação do filtro de água	49
Figura 24 - Diferença entre um clip bem montado e mal montado	51
Figura 25 - Acessório de fixação da caldeira à parede.....	55

Figura 26 - Exemplificação do processo de montagem dos anti-cortes	56
Figura 27 - Sistema de bloqueio do posto 23	57
Figura 28 - Posição das caixas na palete	59
Figura 29 - Caixas das caldeiras CDi com o tampo colocado	59
Figura 30 - Instrução Visual (IV) para o posto 102.....	60
Figura 31 - Ensaaiador devidamente selado e marcado.....	61
Figura 32 - Sistema visual provisório nos postos 70 e 71	62
Figura 33 - Metade esquerda do A3	65
Figura 34 - Metade direita do A3	66

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Modos de falha encontrados no último semestre de 2015.....	35
Tabela 2 - Resultados da Auditoria Avançada no 2º semestre de 2015.....	37
Tabela 3 - Tabela auxiliar para a Análise de Pareto	39

Capítulo 1 - Introdução

1.1 - Caracterização sumária do projeto

A empresa em estudo neste projeto é a Bosch Termotecnologia, S.A., empresa produtora de esquentadores, caldeiras e bombas de calor. Sendo líder do mercado no desenvolvimento de soluções para aquecimento de água a Bosch tem o mercado espalhado por todo o globo. Com a globalização a competitividade nos vários mercados aumentou bastante nas últimas décadas e a necessidade de manter e promover a confiança dos clientes nos produtos das marcas produzidas na Bosch tornou-se uma prioridade. Para tal é necessário que os produtos vendidos primem pela qualidade, exigindo um controlo acrescido de modo a alcançar a excelência nos seus produtos.

Uma outra preocupação atual das empresas está relacionada com os desperdícios existentes durante todo o processo produtivo. Todos estes desperdícios traduzem-se em custos acrescidos, e muitas vezes desnecessários, à produção. Com base nesta eliminação de desperdícios, surge a filosofia de melhoria contínua. Na Bosch, e com o objetivo de que a prática de melhoria contínua seja transversal a todos os seus departamentos, desde os fornecedores e até aos clientes finais, surge o sistema de produção próprio, o Bosch Production System.

Com o presente projeto, tendo como base a filosofia de melhoria contínua inerente à empresa, procura-se garantir a qualidade na montagem de caldeiras de alto rendimento de uma das linhas de produção da Bosch. Para tal pretende-se que, com a implementação de ferramentas de controlo, nomeadamente *Poka-Yoke* e Sistemas *Jidoka*, se consiga eliminar a ocorrência de erros na montagem dessas caldeiras e garantir que estas cheguem ao cliente final sem qualquer tipo de defeito. É também esperado que, com a criação dessas medidas de controlo de qualidade, se consiga eliminar eventuais desperdícios existentes na linha de montagem que constitui o objeto de estudo do presente projeto.

1.2 - Metodologia

Para o desenvolvimento deste projeto procedeu-se à recolha do número e do tipo de erros encontrados na montagem de uma gama de caldeiras, por uma auditora da linha designada onde é produzida essa gama de produto. Após selecionado o período a ser estudado, efetuou-se uma análise aos erros de qualidade encontrados. Estes erros foram inicialmente agrupados por tarefa para que se pudesse observar o número de ocorrências na amostra. Depois de ter os dados devidamente analisados, efetuou-se uma

análise de Pareto de modo a priorizar os modos de falha e perceber para quais é mais crítico a criação de medidas de controlo de qualidade que previnam a ocorrência de defeitos na montagem das caldeiras e, de seguida, desenvolveram-se medidas para assegurar a qualidade desses processos de montagem.

Selecionados os modos de falha, realizaram-se vários conjuntos de *workshops* para o desenvolvimento de soluções preventivas à ocorrência de erros. Espera-se, assim, que essas soluções assegurem o controlo da qualidade exigido pelos clientes Bosch.

Todo este projeto, como já foi mencionado, está inserido na filosofia de melhoria contínua da empresa, pelo que é necessário existir transversalidade da informação por todos os departamentos a que está associado. No relatório também é explicado como toda a gestão do projeto foi efetuada.

1.3 - Estrutura do relatório

A descrição do projeto está dividida pelos 4 capítulos que constituem o presente relatório:

- Capítulo 1 – Introdução, é apresentado, de forma resumida, a informação do problema que se pretende solucionar, bem como a metodologia usada para chegar à solução e os objetivos a alcançar.
- Capítulo 2 – Contextualização teórica, é efetuado todo o enquadramento teórico necessário para a compreensão dos temas que são abordados na resolução do problema. Neste capítulo são expostos os resultados da pesquisa bibliográfica elaborada, em que as principais temáticas são o *Lean Thinking* e as suas bases, a melhoria contínua e ferramentas utilizadas para o controlo de qualidade, como *Poka-Yoke* e *Jidoka*.
- Capítulo 3 – Caso de estudo, é apresentada a empresa em que o projeto está inserido, a Bosch Termotecnologia, S.A., e o que motivou o desenvolvimento do projeto. É neste capítulo que é efetuada toda a análise ao problema em questão, partindo de uma abordagem geral que foi sendo aprofundada até ser encontrada a raiz do problema. São também apresentadas as soluções propostas à Bosch para a resolução dos problemas identificados.
- Capítulo 4 – Conclusão, são expostos os resultados previstos com a implementação do projeto bem como é realizada uma conclusão introspetiva a todo o projeto. São também apresentadas ações de melhoria futura a ser implementadas na empresa.

Capítulo 2 - Contextualização teórica

2.1 - Introdução ao Lean

O termo *Lean* representa uma filosofia de pensamento e prática de como fazer funcionar toda uma organização baseando-se nos princípios e métodos do *Toyota Production System*. *Lean* é um sistema de negócio holístico, que começa por entender o objetivo (valor para o cliente), a forma de desenhar e gerir processos de forma eficiente e como aproveitar ao máximo os recursos (ILM, 2015). Uma definição simplista de *Lean* é fazer mais com menos. (Urban, 2015)

Os fundamentos subjacentes à metodologia *Lean* são o de atuar segundo objetivos definidos, o respeito pelas pessoas e por fim a melhoria contínua. Womack e Jones (2003) definiram 5 princípios básicos para a implementação da metodologia *Lean*, estando estes representados na Figura 1.



Figura 1 - Os 5 princípios *Lean* (IBM, 2016)

Definir valor – Definir o valor de um produto ou serviço segundo a perspetiva do cliente. Esse valor só é significativo se corresponder às suas necessidades na procura de um produto específico num determinado momento e a um determinado preço. (Urban, 2015)

Desenhar a cadeia de valor – Desenhar todas as etapas que fazem com que um produto/serviço passe pelas três fases críticas da gestão da produção: Resolução de problemas, gestão de informação e transformação física do produto/serviço. É necessário identificar o que acrescenta valor ao cliente e eliminar o que não acrescenta.

Criar fluxo – Criar fluxo contínuo nas etapas de valor acrescentado (identificadas no ponto anterior) dos produtos/serviços e informação de todo o processo.

Implementar Pull – Alterar o sistema de produção, baseando-se na procura por parte do cliente. A procura do cliente é que vai puxar a produção em toda a cadeia de valor.

Procurar a perfeição – Implementar a mentalidade de melhoria contínua para que se continue a eliminar os desperdícios de forma a todas as tarefas criarem valor para o cliente (ILM, 2015).

2.2 - Toyota Production System

Toyota Production System (TPS) é um sistema inovador de produção criado por Taiichi Ohno após a derrota do Japão na 2ª Guerra Mundial. Taiichi Ohno era, na altura, um executivo da empresa produtora de automóveis, *Toyota Motor Company*, que, no cenário de um Japão derrotado, tentava conseguir dar resposta à procura pelo mercado, apesar de existir uma escassez de recursos disponíveis para a produção. A melhoria da utilização de recursos tornou-se então essencial de modo a melhorar o seu aproveitamento. Nesse contexto, é, portanto, necessário eliminar todo o tipo de desperdícios (*muda* – palavra japonesa para desperdício). O principal objetivo do TPS é, assim, aumentar a eficiência da produção de forma consistente, eliminando desperdícios (Ohno, 1998).

De forma a conseguir representar de uma forma simples as ferramentas utilizadas pelo TPS, Fujio Cho, discípulo de Ohno, elaborou um diagrama (ver Figura 2) que explicita como essas ferramentas se correlacionam. Este diagrama está representado na forma de uma casa, pois esta é um sistema estrutural. Uma casa só é forte, se o seu telhado, pilares e base forem fortes (Liker, 2004).

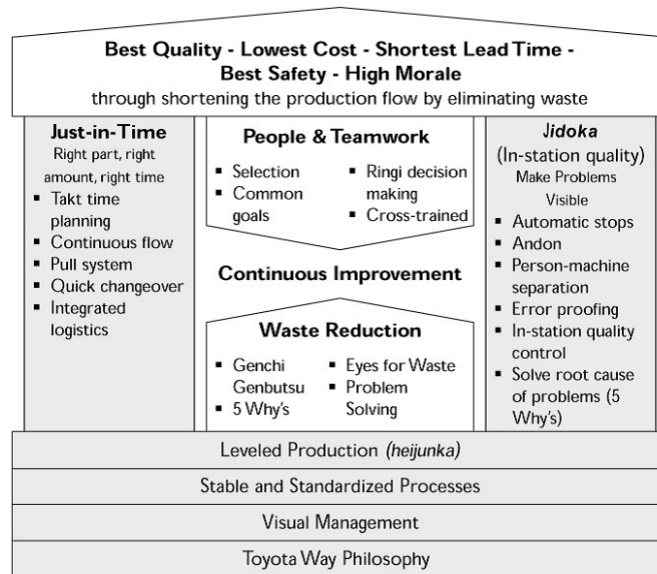


Figura 2 - Casa do TPS (Liker, 2004)

O diagrama começa com as objetivos do TPS, melhor qualidade, baixo custo e *lead time* curto (tempo que um produto demora a percorrer todo o processo, desde o início até ao final), no telhado da casa. (Liker, 2004)

Existem dois pilares no TPS, que suportam o princípio da eliminação absoluta de desperdícios que são o *Just-in-Time* (JIT) e a *Jidoka*. A filosofia *Just-in-Time* significa que o produto correto chega na quantidade requerida ao local certo no tempo apropriado (Masai, Parrend & Cecilia Zanni-Merk, 2015).

Jidoka tem como significado ‘autonomatização’ (diferente de automatização), isto é, o processo apesar de automático também contém inteligência humana. Caso surja uma anomalia, a máquina pára (o trabalhador é alertado) e, assim, evita-se a produção de um produto defeituoso (Berk e Toy, 2009).

No centro do sistema encontram-se as pessoas. Na base da casa encontram-se vários elementos fundamentais. Entre eles está a necessidade de estandardizar processos estáveis e de confiança e o *heijunka*, que significa balancear o calendário de produção tanto em volume como em quantidade (Liker, 2004).

2.3 - Desperdícios

Desperdício ou *muda* inclui qualquer atividade que consome recursos (incluindo tempo) mas que não acrescenta valor para o cliente. Temos *Muda* quando o sistema que é utilizado não é perfeito e precisa ser melhorado (*Muri*) ou quando o sistema está “perto

de perfeito” mas não é corretamente seguido/implementado (*Mura*). Para se conseguir distinguir o que é uma atividade de valor acrescentado do que é um desperdício é preciso olhar para todo o processo pela perspectiva do cliente (Liker, 2004).

De entre as atividades de valor não acrescentado temos as que são necessárias e as que não são. O objetivo do *Lean* é reduzir ao máximo o impacto das primeiras e eliminar as segundas. Ohno identificou sete tipos diferentes de desperdícios que enfraquecem o processo produtivo (Liker, 2004). Esses desperdícios são:

- Sobreprodução – Produzir mais quantidade do que aquela que é solicitada pelo mercado. Gera desperdícios com o custo desnecessário de mão-de-obra, armazenamento e transporte, por causa do excesso de inventário (Liker, 2004). É um desperdício criado pela mentalidade dos supervisores de linha, que preocupados com problemas como avaria de uma máquina, rejeições, e absentismo, sentem-se pressionados a produzir mais do que necessário de modo a criarem uma zona de segurança (Imai, 1997).
- Espera – Colaboradores parados porque não têm o material ou a ferramenta que necessitam, ou estão a aguardar que um processo termine para poderem prosseguir com a tarefa. Também quando um operador simplesmente observa uma máquina que desempenha atividades de valor acrescentado.
- Transporte – Deslocação de material em curso de fabrico (WIP - *Work In Process*). Atividade que é impossível de se eliminar na totalidade pois é necessária para o processo, pelo que deve ser reduzida para que o impacto seja mínimo, já que se trata de um atividade que não acrescenta qualquer valor ao produto. Para além de não acrescentar valor, ainda consome materiais e recursos como camiões, empilhadores, etc., e a mão-de-obra que opera esses recursos.
- Sobreprocessamento – Realização de mais ações do que as necessárias para a concretização de uma tarefa. Pode dever-se a um mau planeamento do processo, desenho do produto ou ferramentas.
- Inventário – Aumento do *Lead Time* dos produtos, por armazenamento de matérias-primas, produtos em curso de fabrico (WIP) ou mesmo de produto acabado. Tem também impacto no custo operacional por ocupar espaço e necessitar de equipamento e instalações adicionais, como espaço em armazém, empilhadores e outros sistemas de transporte. Um armazém também necessita de mão-de-obra adicional para a operação e administração do mesmo (Imai, 1997).

- Defeitos – Falhas nos produtos que podem, ou não, ser reparadas. Os defeitos interrompem a produção e podem requerer retrabalhos que têm custos desnecessários associados. Muitas vezes os produtos defeituosos têm de ser eliminados, o que representa um grande desperdício de recursos e de esforço (Imai, 1997).
- Movimentação – Movimentos que os operadores tenham de desempenhar e que não acrescentam valor são desperdícios. Como ter andar ou alcançar uma ferramenta ou material, ou mesmo procurar por uma peça. Mas o desperdício na movimentação não é apenas isso. Qualquer movimento que requeira um esforço acrescido por parte de um operador para ser executado também é um desperdício como, por exemplo, levantar ou carregar objetos pesados. Estas movimentações devem ser evitadas não só por representar desperdício mas também pela dificuldade que representa para o operador.

Liker (2004) menciona um oitavo desperdício que é a não utilização da criatividade das pessoas. Não utilizar os conhecimentos e criatividade das pessoas que trabalham diariamente em ambiente fabril nos processos de melhoria, implica perda de tempo, ideias, competências, e oportunidades de aprendizagem.

Para se conseguir identificar as fontes de desperdício e desenvolver uma estratégia para a eliminação das suas causas raiz é necessário uma abordagem metódica aos processos. Uma ferramenta que auxilia nesta abordagem é o ciclo PDCA.

2.4 - Ciclo PDCA

O ciclo PDCA (*Plan – Do – Check – Act*) foi desenvolvido por William Edwards Deming em 1950. Deming baseou-se num ciclo já existente, Ciclo de Shewhart, reformulando-o para o que atualmente é utilizado. Walter A. Shewhart afirmava que existem três passos para a resolução de problemas que são a especificação da solução, a execução desta e por fim a inspeção dos resultados. Inicialmente a representação da resolução de problemas encontrava-se de forma linear, mas Shewhart alterou a representatividade destes três elementos para um formato circular (Figura 3), introduzindo assim a ideia de melhoria contínua (Moen R., Norman C., 2006).

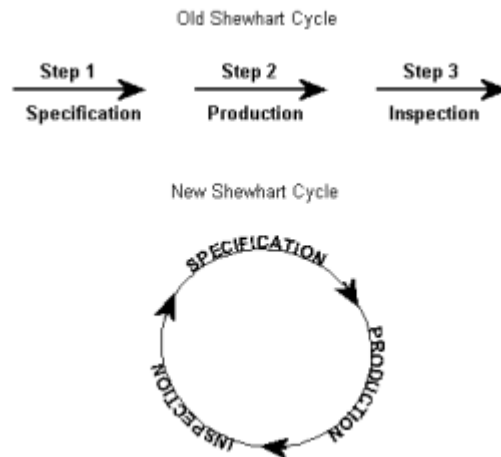
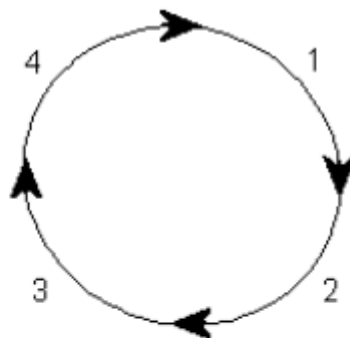


Figura 3 - Ciclo de Shewhart

Num seminário de controlo de qualidade no Japão, Deming, que na altura estava a editar o livro de Shewhart, apresentou a sua versão do ciclo (Figura 4, de Moen R., Norman C., 2006) em que frisa que a interação entre desenho, produção, vendas e pesquisa de um processo deve ser contínua.



1. Design the product (with appropriate tests).
 2. Make it; test it in the production line and in the laboratory.
 3. Put it on the market.
 4. Test it in service, through market research, find out what the user thinks of it, and why the non-user has not bought it.
 5. *Re-design the product, in the light of consumer reactions to quality and price.*
- Continue around and around the cycle.*

Figura 4 - Ciclo de Deming

Surge então a raiz do ciclo PDCA que, após sofrer pequenas alterações, tornou-se numa ferramenta de resolução de problemas muito utilizada ainda nos dias de hoje (Moen R., Norman C., 2006). O ciclo PDCA relaciona-se com a criação de *one-piece flow*, identificação de problemas, criação de contramedidas e avaliação de resultados. Uma organização eficaz verifica sempre para ter a certeza que as contramedidas estão a fazer o seu trabalho e depois procuram outros problemas que também precisam ser resolvidos.

O ciclo PDCA é composto por quatro fases que levam à resolução de problemas:

P – Planeamento (*plan*)

D – Implementação (*do*)

C – Verificação (*check*)

A – Ação (*act*)

Cada uma destas fases tem uma série de tarefas que lhes estão associadas para que se consiga atingir os objetivos definidos de uma forma eficaz. Ao seguir-se uma metodologia definida o tempo de resolução de problemas será menor, sendo que a fase que consome mais tempo deve ser a do planeamento (ILM, 2015).

A fase inicial do ciclo é onde ocorre a definição do problema. Na definição do problema é importante adaptar uma postura de “Go See” isto é, ir ao local ver o problema em primeira mão. É também necessário identificar os *stakeholders* (qualquer indivíduo ligado ao problema) e estabelecer canais de comunicação para que se consiga ter toda a equipa a trabalhar para um objetivo em comum. Deve-se também averiguar se todos compreendem e aceitam o problema (ILM, 2015). Após a definição clara do problema, este deve ser dividido em partes menores. Esta divisão leva a uma aproximação às potenciais causas do problema e à identificação de desvios (diferença entre o estado pretendido e o estado real) de rendimento. Ao avaliar cada uma das divisões do problema, começa-se a definir o nível de importância/urgência de cada uma (ILM, 2015). A etapa que se segue é a definição de um objetivo, devendo este seguir a metodologia SMART (deve ser: específico, mensurável, alcançável, realista e definido no tempo). Com o objetivo definido é então necessário detetar as causas raiz do problema devendo-se, para tal, questionar tudo. A utilização de ferramentas *Lean* também é importante para identificar e perceber as causas raiz, como por exemplo, diagramas de Ishikawa, diagramas de Pareto, e outras ferramentas estatísticas. Obtendo-se as causas raiz é então necessário desenvolver sugestões de contramedidas que tenham como foco o cliente. (ILM, 2015)

Após concluída a fase de planeamento, a fase em que se deve investir mais tempo, segue-se então a fase de implementação. Nesta fase implementam-se as contramedidas, selecionadas pelos *stakeholders*, em equipa, de forma clara e de forma a ser possível verificar os valores de desempenho relativamente ao objetivo. Estes valores são acompanhados e analisados na terceira fase do PDCA, a fase de verificação. É aqui que se verifica se a solução implementada teve resultados favoráveis e, caso contrário,

compreender o porquê da contramedida não atingir o objetivo definido (ILM, 2015). Por fim, na fase de ação desenvolvem-se formas de standardização das contramedidas implementadas. Sem essa standardização, as contramedidas, ao longo do tempo, deixam de ser utilizadas o que resulta na diminuição dos resultados obtidos voltando-se praticamente ao ponto de partida (ILM, 2015). É nesta fase que se identificam novas oportunidades de melhoria que levem ao desenvolvimento de novos projetos de resolução de problemas (estratégia de melhoria contínua também conhecida por *Kaizen*) inicializando-se novamente todo o ciclo PDCA (Sokovic, Pavletic & Pipan, 2010).

2.5 - Melhoria contínua (*Kaizen*)

A estratégia *Kaizen* é um dos conceitos mais importantes da gestão japonesa (Imai, 1997). *Kaizen* significa melhoria contínua envolvendo toda a gente, desde a chefia de topo, passando pelos gestores até chegar aos operadores. Ao contrário do pensamento ocidental de inovação, direcionado para os resultados, o pensamento *Kaizen* é direcionado para o processo e para o aperfeiçoamento deste (Coimbra, 2013).

Nas duas décadas após a crise do petróleo a economia mundial cresceu e o mercado experienciava uma enorme procura por novas tecnologias. Neste período, a estratégia de inovação teve resultados bastante positivos revertendo em grandes margens de lucro. Os mercados cresciam exponencialmente, os consumidores estavam mais voltados para a quantidade do que para a qualidade, existia um pensamento de que um produto inovador compensava as baixas performances de operações tradicionais, a gestão estava mais preocupada com o aumento das vendas do que com as reduções de custos (Imai, 1997).

O mercado atual é, no entanto, muito diferente. Com o aumento radical dos custos de material, energia e mão-de-obra, a competitividade entre empresas fica cada vez mais saturada e os clientes esperam mais qualidade nos produtos que comprem. É então necessário promover um pensamento de melhoria dos processos internos de forma a reduzir custos e alcançar vantagem competitiva (Imai, 1997).

A filosofia *Kaizen* pretende então que haja melhoria por todos mas também em todos os lugares e todos os dias.

É necessário, principalmente em empresas que tenham muitos projetos de melhoria contínua pendentes, saber decidir a qual ou quais projetos se deve dar seguimento. Para isso pode-se recorrer a uma análise modal de falha e efeitos (FMEA – *Failure Mode and*

Effect Analysis) para se conseguir priorizar os projetos, avaliando o respetivo risco e potenciais desperdícios.

2.6 - FMEA

Uma Análise Modal de Falha e Efeitos (FMEA) é uma técnica analítica que tem como finalidade assegurar que, no desenvolvimento de um projeto/produto/serviço, os potenciais modos de falha e as suas causas foram considerados e documentados. É um resumo de como um produto ou sistema é projetado tendo, também, em consideração a análise dos itens que poderiam falhar, baseando-se na experiência das pessoas que estão a desenvolver esse produto/sistema e em todo o historial de falhas que foram documentadas. Esta abordagem sistemática acompanha, formaliza e documenta toda essa linha de pensamento que é normalmente percorrida durante o desenvolvimento do projeto (Cooper e Dale, 1992).

Segundo o Manual FMEA (CC, FMC e GMC, 1993), esta ferramenta pode ser descrita como um grupo de atividades sistémicas com os seguintes objetivos:

- 1) Reconhecer e avaliar a falha potencial de um produto/ processo e seus efeitos;
- 2) Identificar ações que podem eliminar ou reduzir a hipótese do modo de falha potencial vir a ocorrer;
- 3) Documentar o processo de análise.

Uma FMEA complementa o processo de desenvolvimento de um projeto fazendo com que este contenha os requisitos que satisfaçam completamente as necessidades dos clientes. A definição de clientes de um FMEA não abrange apenas os utilizadores finais, mas também todas as equipas por quem o produto ainda terá que passar até ficar totalmente finalizado.

A FMEA de um projeto é um documento dinâmico que deve ser elaborado antes ou no final da definição do conceito do projeto. Este documento deve ser continuamente atualizado até ao fim do tempo de vida do produto, de acordo com as alterações que sofreu ou recorrendo a informações adicionais obtidas. Para que seja bem-sucedida, uma FMEA deve atingir 4 objetivos primordiais (Cooper e Dale, 1992), que se baseiam na redução do número de:

- Defeitos durante a produção de amostras iniciais e no global do volume de produção,

- Queixas dos consumidores,
- Falhas em linha,
- Reclamações para garantia.

A elaboração de uma FMEA requer os vários tipos de informações que ajudam na sua identificação e na dos setores relacionados com esta (CC, FMC e GMC, 1993):

- 1) Número da FMEA;
- 2) Produto/processo em causa;
- 3) Sectores da empresa envolvidos na equipa;
- 4) Dados do responsável;
- 5) Produto final envolvido, incluindo data de lançamento;
- 6) Data inicialmente prevista para a finalização da FMEA (calendarização);
- 7) Data de início e de finalização da análise;
- 8) Colaboradores envolvidos.

A informação anterior é necessária à construção da FMEA pois auxilia a organização da informação disposta no resto do documento. O passo seguinte é a identificação dos processos ou componentes que vão ser analisados. Estes devem estar devidamente identificados no documento.

No passo seguinte, e para cada um destes processos ou componentes, devem ser definidos os vários modos de falha que lhes estão associados. Um modo de falha corresponde a uma possibilidade de existir uma falha do processo ou componente que o impeça de cumprir o seu objetivo, nunca se presumindo que algo é infalível.

Após definidos os modos de falham devem ser estudados os seus potenciais efeitos para o cliente final. Os potenciais efeitos são enumerados utilizando dados históricos da empresa como, por exemplo, reclamações. Estes efeitos causam insatisfação ao cliente, mas também podem ser prejudiciais ou constituir algum perigo para os utilizadores do produto. O impacto que cada um destes efeitos tem no cliente é, assim, também avaliado num campo da FMEA, classificando-se a sua gravidade (S - *Severity*). Cada efeito é categorizado em termos de gravidade num nível compreendido de 1 a 10, Índice de Gravidade, em que 1 não tem impacto no cliente e 10 é considerado perigoso, pois afeta a segurança deste. Falhas com um Índice de Gravidade elevado devem ser catalogadas como críticas (CC, FMC e GMC, 1993).

Os modos de falha também são avaliados através da sua Ocorrência (O - *Occurrence*), tendo em conta a probabilidade de existir uma falha. Tal como na Gravidade, a Ocorrência é categorizada num nível compreendido entre 1 e 10, Índice de Ocorrência, sendo que o nível 1 diz respeito a falhas que são improváveis de acontecer e o 10 diz respeito a falhas que são praticamente inevitáveis.

Para além dos dois pontos anteriormente falados, os modos de falha também são avaliados através da sua Detecção (D - *Detection*), este diz respeito à capacidade de se conseguir detetar internamente a ocorrência de uma falha, antes do produto chegar ao consumidor final. A capacidade de deteção é também categorizada num nível compreendido de 1 a 10, Índice de Detecção, mas a ordem de grandeza é inversa comparativamente com os casos anteriores. Neste caso, um modo de falha no nível 1, indica que a capacidade de deteção de uma falha é muito alta, já no nível 10 é praticamente impossível a deteção de uma falha (CC, FMC e GMC, 1993).

Por fim é calculado um nível de risco de cada modo de falha de modo a conseguir-se priorizar os vários modos de falha. É definido um número prioritário de risco (RPN – *Risk Priority Number*). O cálculo do RPN é o resultado do produto dos três índices mencionados anteriormente: $RPN = (S) \times (O) \times (D)$ (CC, FMC e GMC, 1993).

O RPN não é o único fator para a priorização dos modos de falha a analisar e tentar solucionar. A Gravidade deve ser também levada em conta, sendo que modos de falha críticos devem ser sempre encarados com particular atenção.

Numa FMEA, para além dos pontos já explicados, também são descritos os controlos atuais do projeto / produto listando-se todos os controlos de conformidade associados à tarefa. Também são indicadas ações recomendadas que ajudem a reduzir o RPN, ações definidas para alteração do processo, bem como o responsável e o prazo previsto de conclusão e, por fim, o RPN final que se deverá obter após completadas as ações definidas. Estas ações cujo objetivo é diminuir o RPN podem passar pela implementação de ferramentas de controlo de qualidade como, por exemplo, *Poka-Yokes* e Sistemas *Jidoka*.

2.7 - Poka-Yoke

Poka-Yoke é uma técnica que permite evitar simples erros humanos no trabalho (evitar (*yokeru*) erros negligentes (*poka*)). Apesar de o conceito já existir em várias formas, foi o engenheiro de produção japonês Shigeo Shingo que desenvolveu a ideia transformando-

a numa ferramenta para alcançar zero defeitos e eventualmente eliminar inspeções de controlo de qualidade (Shimbun, 1988).

Muitos fatores contribuem para a ocorrência de um erro num ambiente de trabalho complexo sendo que esses erros resultam num produto defeituoso. Defeitos são desperdícios e, caso não sejam detetados durante a produção, fazem diminuir as expectativas do cliente em relação à qualidade. Por detrás do *Poka-Yoke* existe a convicção de que não é aceitável produzir nem um pequeno número de bens defeituosos. Para se tornar um competidor à escala mundial, uma companhia deve adotar não só a filosofia mas também a prática de produzir zero defeitos. Assim, os sistemas *Poka-Yoke* são simplesmente ferramentas que visam atingir esse objetivo (Simbun, 1988).

A filosofia *Lean* rege-se pelo mote de “fazer bem à primeira”, logo a importância de evitar defeitos é elevada. Os defeitos implicam a utilização de recursos de forma desnecessária bem como os custos associados a essa utilização. É importante existir garantias de controlo de qualidade dos produtos/serviços que se prestam evitando a ocorrência de erros ou, caso estes aconteçam, detetando rapidamente esses mesmos erros, antes que se tornem defeitos (Puvanasvaran, Jamibollah & Norazlin, 2014). Quando ocorre um defeito os custos que este implica, são tanto maiores quanto o tempo que se demora a detetar a existência do mesmo. Os operadores cometem erros e o controlo de qualidade deve, então, ser efetuado no posto da tarefa para que a deteção desses potenciais erros seja praticamente imediata (Dudek-Burlikowska, Szewieczek, 2009).

Segundo Shingo (1986) no controlo de qualidade existem três principais técnicas de inspeção:

- Inspeção de julgamento (*judgement inspection*) – Separa os produtos defeituosos dos produtos bons depois do processamento. Previne que os defeitos cheguem ao cliente mas não diminui a taxa de ocorrência destes.
- Inspeção informativa (*informative inspection*) – Investiga as causas dos defeitos e passa a informação para as entidades competentes para que estas promovam ações para reduzir a taxa de ocorrência desses defeitos.
- Inspeção na fonte (*source inspection*) – Um defeito é o resultado, ou um efeito, geralmente causado por um simples erro. Recorrendo a técnicas de inspeção a 100%, o erro pode ser corrigido, antes que se torne um defeito. “Defeitos = zero” pode ser alcançado.

Muitos métodos de controlo de qualidade toleram um certo número de ocorrência de defeitos. No entanto, num sistema *Zero Quality Control* (Zero Controlo de Qualidade) a inspeção a 100% é alcançada através do uso de *Poka-Yokes* o que pode levar à eliminação de defeitos (defeitos = zero). Estes sistemas abrangem três componentes Shingo (1986) cujo objetivo é então alcançar a eliminação de defeitos:

- Inspeção na fonte – Procura fatores que causam erros antes que se tornem em defeitos.
- Inspeção a 100% – Usa *Poka-Yokes* para detetar automaticamente erros ou condições de operação defeituosas.
- Ação imediata – As operações são paradas imediatamente quando um erro ocorre e não voltam a funcionar até que este seja corrigido.

A primeira técnica é claramente a mais eficaz mas a utilização de dispositivos *Poka-Yoke* para a deteção de defeitos e de sistemas que parem as operações até o erro ser corrigido também são sistemas valiosos no processo de redução de defeitos (Simbun, 1988).

A utilização destas ferramentas numa operação não deve ser apenas da responsabilidade de um departamento de engenharia mas também deve integrar os operadores afetos às tarefas que serão alteradas, pois a experiência destes permite chegar a soluções mais adequadas (Puvanasvaran, Jamibollah & Norazlin, 2014).

2.8 - Sistemas *Jidoka*

Estes sistemas são um conceito introduzido por Kiichiro Toyota na sua fábrica de teares automáticos cujo objetivo é eliminar a mão-de-obra direta na produção automatizando todo o processo produtivo. Os operadores passam a ser supervisores e entram em ação quando a máquina deteta um erro na produção (Monden, 2012).

Ohno (1988) sentia que a sobreprodução, um dos setes desperdícios que indicou, era o mal central que levava à ocorrência de desperdícios nas outras áreas. De modo a eliminar o problema dos desperdícios, Ohno idealizou o sistema de produção TPS baseado em duas estruturas principais: o *Just-in-time* (produzir a quantidade certa, no momento certo de acordo com o cliente) e o *Jidoka*.

Um significado para *Jidoka* é *autonomatização*, palavra criada para descrever uma característica do TPS em que as máquinas são desenhadas para pararem

automaticamente quando é detetada a ocorrência de um erro e alertarem um supervisor (Berk e Toy, 2009). No sistema de produção da Toyota sempre que existem erros a máquina pára e todo o sistema é interrompido. Deve ser então efetuado um ajustamento meticoloso da máquina de forma a prevenir a ocorrência do mesmo erro (Imai, 1997).

Não se deve confundir *autonomatização (Jidoka)* com *automatização*. *Automatização* é a substituição de tarefas anteriormente executadas pelo homem por tarefas executadas por máquinas que, no caso de anomalias, acabam por produzir uma quantidade elevada de defeitos. No caso da *autonomatização* a inteligência humana é incluída no processo e, no caso de anomalias, a máquina pára e o supervisor é alertado para que possa resolver o problema, prevenindo assim a produção de produtos defeituosos (ILM, 2015).

Um aspeto crucial no *Jidoka* é o sistema *Andon*, composto por sinais luminosos e/ou sonoros que são utilizados para sinalizar desvios de qualidade e chamar o supervisor para a resolução de problemas (ILM, 2015).

Capítulo 3 - Caso de estudo

3.1 - Apresentação da empresa

A Robert Bosch GmbH, mais conhecida apenas por Bosch, foi fundada em Estugarda (Alemanha), em 1886, pelo empreendedor Robert Bosch (1861-1942). A empresa iniciou-se como uma “Oficina de Mecânica de Precisão e Engenharia Elétrica” que, seguindo os princípios do seu fundador baseados no desenvolvimento e aperfeiçoamento constantes, foi desenvolvendo produtos e fornecendo serviços de qualidade ao longo do tempo, tornando-se hoje na multinacional líder no fornecimento de tecnologia e serviços.

Atualmente, o Grupo Bosch é composto pela Robert Bosch GmbH e por 440 subsidiárias e empresas regionais espalhadas por cerca de 60 países. Ao considerar-se também os parceiros de venda e serviços, a representatividade da Bosch chega a perto de 150 países. As suas operações estão divididas em quatro áreas de negócio: Soluções de Mobilidade, Tecnologia Industrial, Bens de Consumo e Tecnologias de Energia e Edifícios. Os dados finais de 2015 indicam que o grupo empregava cerca de 375.000 colaboradores em todo o mundo e gerou uma faturação em vendas de cerca de 70 mil milhões de euros. A Fundação Robert Bosch detém a maioria das ações do grupo (92%), estando as restantes divididas pela família Bosch e pela Robert Bosch GmbH (Grupo Bosch, 2016),

A forte aposta no desenvolvimento é a chave do sucesso da Bosch que, em 2014, solicitou o registo de cerca de 5.400 patentes em todo o mundo.

O Grupo Bosch está presente em Portugal desde 1911 através da Robert Bosch, S.A., uma filial da Robert Bosch GmbH. É representada pela Bosch Termotecnologia, S.A., em Aveiro, pela Bosch Car Multimédia, S.A., em Braga, e pela Bosch Security Systems – Sistemas de Segurança, S.A., em Ovar. O Grupo possui ainda um escritório de vendas e uma filial da BSH Eletrodomésticos, situados em Lisboa. Atualmente emprega, em Portugal, cerca de 3.800 colaboradores.

Em 2014, a filial portuguesa registou 811 milhões de euros em vendas. Cerca de 90% da produção nacional é exportada para os mais de 60 países em todo o mundo, o que corresponde a um valor de 0,45 do PIB nacional do mesmo ano (Bosch Portugal, 2016).

A divisão Bosch Termotecnologia é a líder mundial no desenvolvimento e produção de sistemas de aquecimento e de água quente, produzindo e comercializando uma grande variedade de produtos na área de mercado em que está inserida, tais como:

esquentadores, caldeiras de chão e caldeiras murais, bombas de calor, caldeiras de combustível sólido, sistemas de cogeração, caldeiras industriais e painéis solares.

A empresa Bosch Termotecnologia, S.A., localizada em Aveiro, foi criada em 1977 em Cacia (distrito de Aveiro), sob a designação de Vulcano Termodomésticos, através de um contrato de licenciamento com a Robert Bosch para a transferência da tecnologia utilizada pela empresa alemã no fabrico de esquentadores. É adquirida em 1988 pelo Grupo Bosch, que começa a transferir equipamentos e competências do grupo para a filial portuguesa. Em 1992, atingiu a liderança no mercado europeu no fabrico e comercialização de esquentadores, tornando-se o terceiro maior produtor a nível mundial. Em 2004, o Grupo realizou um investimento no valor de 7.7 milhões de euros em I&D (Investigação e Desenvolvimento). No ano de 2007, a designação da empresa foi alterada para BBT Termotecnologia, S.A., sendo que só em 2008 é que a empresa adotou a designação atual de Bosch Termotecnologia, S.A., tornando-se assim a divisão em que se localiza o centro de competências mundial para o desenvolvimento de soluções em sistemas de água quente do Grupo Bosch.

Conta atualmente com 1028 colaboradores, gera cerca de 220 milhões de euros por ano e detém a produção de marcas como a Bosch, Vulcano, Junkers, Worcester e Buderus.

3.2 - Estrutura da empresa

A estrutura organizacional da Bosch Termotecnologia S.A. é composta por quatro áreas principais: a área administrativa e financeira, a área de gestão do produto, a área de engenharia e a área técnica. Na Figura 5, pode-se observar as ramificações de cada uma destas principais áreas e os responsáveis por cada uma delas.

Este projeto enquadra-se na área técnica da empresa, mais concretamente no departamento AvP/MOE. Trata-se do departamento responsável pela produção de todos os produtos nas instalações de Aveiro, desde o fabrico de peças, passando pela pré-montagem e montagem dos produtos finais e finalizando no embalamento dos mesmos.

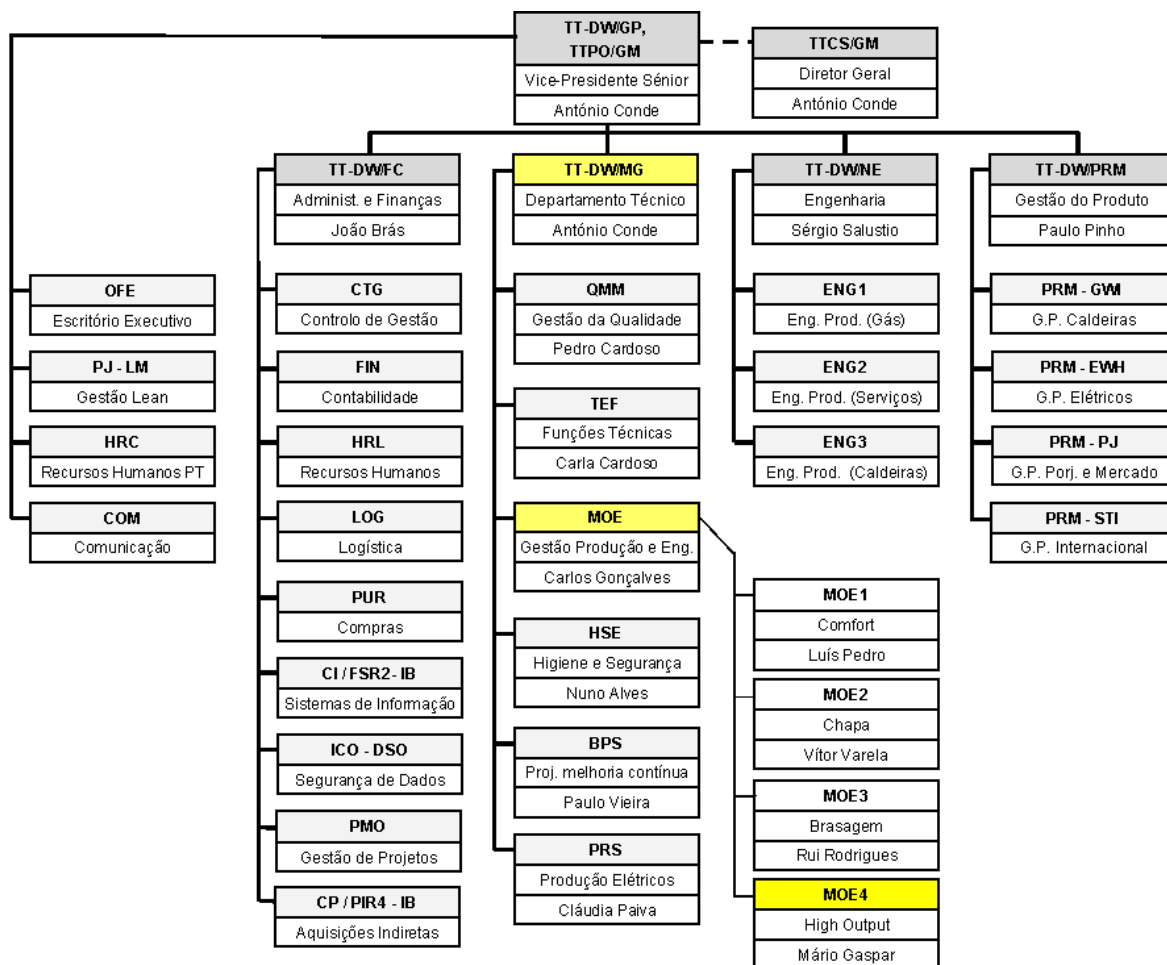


Figura 5 - Estrutura organizacional da Bosch Termotecnologia, S.A.

A estrutura do departamento AvP/MOE encontra-se dividida em quatro grupos distintos:

AvP/MOE1 – Comfort: Grupo que se dedica à montagem de produtos a ser utilizados noutras áreas, à impressão de etiquetas e manuais de utilização, à preparação dos *kits* de acessórios e à montagem final de esquentadores. É no AvP/MOE1 que se inserem as famílias de aparelhos de baixo custo, essencialmente para uso doméstico. Este grupo é responsável pelas seguintes secções:

- S851 – Válvulas de gás
- S852 – Válvulas de água
- S854 – *Kits* de acessórios e manuais
- S855 – Preparações
- S870 – Esquentadores CKD's
- S871 – Esquentadores *Comfort*

AvP/MOE2 – Chapa: Grupo que se dedica à produção e pintura das frentes que são utilizadas nos esquentadores e caldeiras, bem como ao embalamento de peças sobressalentes e à produção de componentes a serem utilizados pelos produtos finais. Este grupo é responsável pelas seguintes secções:

S822 – Prensa

S831 – Pintura

S841 – Tubos de gás

S853 – Queimadores e maquinaria

S859 – Chaminés

S881 – Embalamento de peças sobressalentes e componentes Bosch

AvP/MOE3 – Brasagem: Grupo que se dedica à construção de câmaras de combustão e de todos os elementos metálicos que irão contribuir para o aquecimento da água, para além da montagem de painéis solares e do trabalho relacionado com as bombas de calor. Este grupo é responsável pelas seguintes secções:

S842 – Câmaras de combustão

S843 – Tubos de cobre

S861 – Solar

S874 – Bombas de calor

AvP/MOE4 – High Output: Grupo que se dedica à montagem de esquentadores e caldeiras *High Output*. Este tipo de produtos têm um custo mais elevado e uma procura maior, principalmente no mercado internacional. O AvP/MOE4 também está envolvido na montagem de válvulas de gás e água e na produção de câmaras de combustão WB7, que são posteriormente usadas nas caldeiras CDi. Este grupo é responsável pelas seguintes secções:

S856 – Válvulas de gás

S857 – Válvulas de água

S858 – Câmaras de combustão WB7

S872 – Esquentadores *High Output*

S873 – Caldeiras GZT / LCN

S875 – Caldeiras CDi

É neste último grupo, o AvP/MOE4, que este projeto se insere. Como se dedica à produção de esquentadores e caldeiras de custo elevado e engloba várias famílias de produtos na sua produção, procura-se com persistência melhorar a eficiência dos seus processos, reduzir o WIP (*Work in Process*) e o retrabalho.

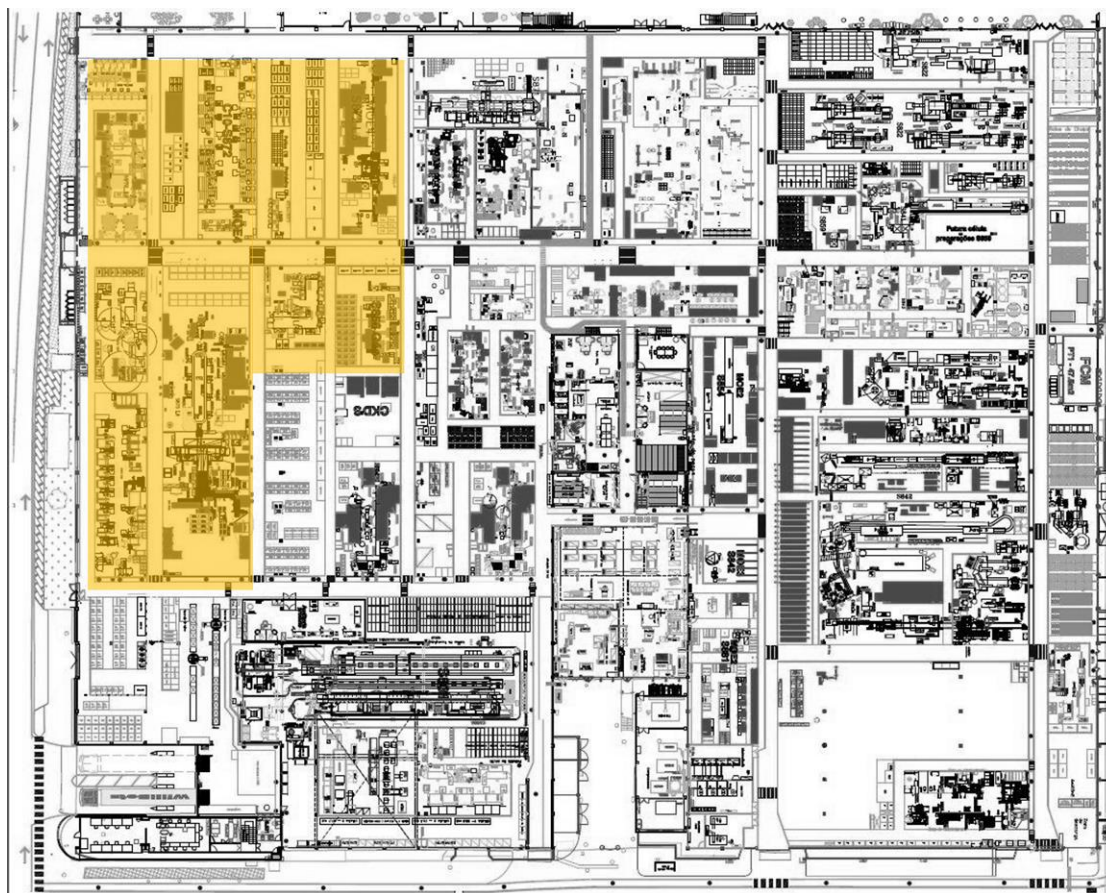


Figura 6 - Layout da Bosch Termotecnologia, SA

A área do grupo *High Output*, assinalada a amarelo na figura anterior (Bosch Intranet, 2016), encontra-se junto à secção de empacotamento final e da zona de expedição da fábrica, de forma a reduzir a movimentação dos produtos finais produzidos pelo grupo. Todos os outros grupos (AvP/MOE1, AvP/MOE2, AvP/MOE3) são de alguma forma fornecedores internos do grupo *High Output*, pois produzem os componentes que posteriormente serão utilizados na montagem dos produtos finais.

A estrutura organizacional do grupo MOE4 é liderada por o Eng.^o Mário Gaspar, *Group Leader* da área. Este reporta diretamente ao Diretor de Departamento AvP/MOE, que coordena toda a produção, projetos de engenharia e projetos de melhoria contínua do grupo. Existem neste grupo dois engenheiros de processo, cada um afiliado a secções definidas, que são responsáveis por todo o processo das respetivas secções bem como

por todos os equipamentos que as constituem. São a segunda resposta em caso de não conformidades na produção e também os responsáveis de melhoria dos processos nas respectivas secções. A equipa é também constituída por um Responsável de Área (RA), que coordena todos os elementos da estrutura de suporte à produção e é responsável de todos os operadores das linhas de produção da área MOE4. A equipa de suporte é constituída por dois responsáveis de turno (RT), responsáveis pelas ordens de produção, dois responsáveis operacionais (RO) que determinam as capacidades dos processos e toda a gestão de informação da área; e um responsável da qualidade, elo de ligação entre o departamento de produção e o de qualidade. Em cada linha de produção existe ainda um responsável de equipa (RE) que coordena todos os operadores da mesma.

3.3 - Motivação e metodologia do projeto

Este projeto vai de encontro à filosofia do sistema de produção da empresa, o *Bosch Production System* (adaptado do *Toyota Production System*), que visa promover a melhoria contínua em todos os seus processos desde os fornecedores até aos consumidores finais.

Existe na Bosch Termotecnologia S.A. um departamento, também designado por BPS (*Bosch Production System*), que é o departamento responsável pela coordenação dos projetos de melhoria contínua que os outros departamentos realizam ao longo do ano. Esses projetos têm de ir ao encontro dos objetivos estipulados pela direção da empresa e os seus ganhos são contabilizados pelo impacto que têm nos indicadores chave de desempenho seguidos, os KPI's (*Key Performance Indicator*).

A coordenação dos projetos de melhoria contínua encontra-se também dividida em três áreas distintas, ao longo da cadeia de valor:

Source – Ligada a projetos de melhoria relacionados com fornecedores e abastecimento das linhas de produção com os produtos adquiridos ao exterior;

Make – Relacionada com projetos de melhoria nas áreas de produção, montagem e abastecimento logístico interno;

Deliver – Ligada a projetos de melhoria na expedição dos produtos finais e relacionados com os consumidores finais.

Cada uma destas áreas tem um responsável associado, que, em conjunto com o diretor do departamento BPS, coordenam os projetos elaborados pelo respetivo departamento garantindo que estes estejam alinhados com os objetivos definidos pela empresa.

No final de cada ano, numa reunião denominada de *System-CIP* na qual, juntamente com a direção, participam todos os departamentos da fábrica, é efetuada uma avaliação aos resultados obtidos nesse ano e são definidos os objetivos a atingir no ano seguinte. Essa reunião é posteriormente efetuada por trimestre (ciclo), dentro de cada departamento, para se definirem novos projetos que visam atingir as metas estipuladas pela direção. Os projetos que cada departamento definiu para esse ciclo são então apresentados, também de forma trimestral, no *System-CIP* da área BPS (*Source*, *Make* ou *Deliver*) em que o departamento está incorporado. Nesta reunião é possível alinhar os departamentos de cada área, juntando os esforços para se conseguir obter resultados mais favoráveis.

Foi no *System-CIP* do grupo MOE4, que se realizou no final de Setembro de 2015, que a ideia para este projeto foi concebida. O projeto desenvolvido foca-se na área da montagem de produtos finais *High Output*, da qual é responsável o departamento de produção AvP/MOE4. Este projeto, como está associado à área fabril, é coordenado pela área de melhoria contínua BPS *Make*. Como já foi referido no tópico anterior, o departamento MOE4 é responsável pela montagem de esquentadores e caldeiras classificados como *High Output*, o que significa que as famílias de produtos de que este departamento está responsável, se traduzem num elevado rendimento para a empresa, pelo que o nível de eficiência esperado é elevado.

O principal objetivo do projeto é identificar oportunidades de melhoria no processo da Linha 7, linha de montagem final de uma gama de caldeiras murais da gama CDi. Para tal, é necessário identificar fontes de desperdício, detetar a causa-raiz dos problemas e encontrar soluções que possibilitem a eliminação dessa causa ou a redução do impacto que esta tem no processo produtivo.

Pretendia-se que o projeto tivesse impacto positivo no nível de eficiência da secção de montagem. Este KPI, a eficiência, é um dos indicadores mais relevantes para a empresa e, de um modo geral, relaciona o número de caldeiras produzidas com o número de operadores envolvidos no processo, sendo seguido diariamente de modo a determinar o estado produtivo da empresa. Também pode servir para determinar o impacto que um projeto tem na produção.

3.4 - Caracterização do estado atual

A Linha 7 ou Secção 875 (S875) é responsável pela montagem e embalamento das caldeiras murais da gama CDi. Estas caldeiras, que no mercado são designadas por Caldeiras Murais de Condensação Aquastar Green, são utilizadas para o aquecimento de

águas sanitárias, para aquecimento central a baixas temperaturas (como é o caso do piso radiante) e até para funcionamento como equipamento de apoio a sistemas solares (Bosch Termotecnologia, 2016). A secção, que iniciou a sua produção em Março de 2007, produz atualmente 50.000 caldeiras por ano e o seu mercado está centrado na Península Ibérica, com a marca Vulcano, e no Reino Unido, com a marca Worcester. Os mercados a que se destinam definem as famílias das caldeiras que são produzidas, como Iberia e UK, respetivamente, existindo 30 referências para o conjunto das duas famílias. Na figura que se segue, é possível analisar como se repartem as referências pelas respetivas famílias.

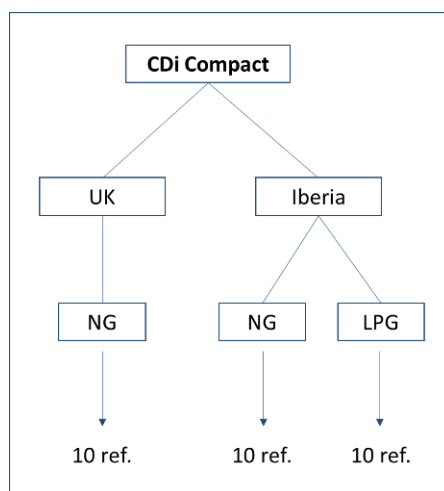


Figura 7 - Número de referências por família

As variações entre as referências relacionam-se essencialmente com as unidades de medição (métrica ou imperial), com a potência da caldeira e o tipo de gás utilizado: NG (metano) ou LPG (propano). A potência das caldeiras varia entre um mínimo de 28 watts e um máximo de 36 watts, sendo que as variações entre referências são pequenas e não causam alterações significativas nas tarefas desempenhadas pelos operadores, o que torna o processo produtivo praticamente homogéneo.

A linha de montagem das caldeiras murais da gama CDi, S875, é composta por 23 postos, opera a dois turnos por dia, geralmente nos dias úteis da semana, trabalhando noutros dias caso seja necessário realizar retrabalhos ou recuperar produção perdida por paragem da linha. Cada turno é constituído por dezasseis operadores diretos, cujas funções estão apenas relacionadas com a montagem dos componentes a ser integrados nas caldeiras, com a montagem desses componentes na estrutura final da caldeira, com a realização de testes de qualidade e com o embalamento das caldeiras. As tarefas desempenhadas pelos mesmos são consideradas de valor acrescentado ao produto.

caldeiras é considerada como uma tarefa de valor não acrescentado, sendo então considerada uma fonte de desperdício de recursos.

A Auditoria Avançada é um processo rigoroso de controlo de qualidade ao produto em que as responsáveis pela mesma seguem o processo de montagem da caldeira e fazem o controlo detalhado da qualidade da mesma, determinando se os componentes indexados às caldeiras estão em bom estado e se a montagem destes componentes está, ou não, conforme as estritas normas de qualidade da Bosch.

As auditoras durante o processo seguem uma folha *standard* onde estão indicados todos os pontos a ser auditados em cada caldeira (Figura 9). É utilizado um exemplar do documento para cada uma das caldeiras auditadas. A identificação da caldeira auditada na folha da Auditoria Avançada é assinalada através do número de lote, referência e pelo número de série. Também são necessários os dados relativamente à auditora, como o nome (Resp.), assim como a data em que foi efetuado o processo. A auditora segue metodicamente todos os pontos descritos na tabela da folha da Auditoria Avançada e assinala, em cada um, o resultado da montagem (conforme ou não conforme). No caso de algum ponto não se encontrar em conformidade, a falha é anotada na folha da Auditoria Avançada e posteriormente retificada pelos operadores, para que o erro não chegue ao cliente final.

Para que sejam revistos todos os pontos que a Auditoria Avançada exige, a auditora tem de acompanhar o processo de montagem desde o posto 12, onde o bloco hidráulico é inserido na estrutura da caldeira, até ao final. Isto implica que a auditora não consegue analisar todas as caldeiras que são montadas diariamente tendo, no último semestre do ano 2015, sido auditadas 47.06% das caldeiras produzidas.

Para além da Auditoria Avançada, existe outro processo de controlo de qualidade na linha 7. Os operadores de cada posto devem certificar os processos que o posto anterior desempenhou. Cada caldeira é acompanhada por uma folha para esse mesmo efeito (Anexo A). Nesta, e à semelhança da folha da Auditoria Avançada, estão descritas as tarefas críticas que devem ser auditadas relativamente aos processos dos postos anteriores. Após essa verificação, os operadores têm de validar a auditoria assinando a folha. Este controlo não é tão rigoroso como o da Auditoria Avançada pois os operadores estão mais focados nas suas próprias tarefas de montagem, descartando por vezes a importância de um bom controlo de qualidade das tarefas realizadas no posto anterior.

High Output - Auditoria Avançada "CDI"

Nº Lote: _____ Referência: _____ NºSerie: _____ Data: _____ Resp: _____

Local	Nº	Descrição	Resultado	
Interior da Caldeira	010	Fixação cabo do ventilador		
	020	Fixação do fio terra ventilador e suporte inferior		
	030	Fixação do cabo de ionização no electrodo		
	040	Correcta ligação do transformador ignição		
	050	Existência de tubo de gás com 6 placas metálicas anti-vibratórias		
	060	Correcto aperto da porca tubo gás borracha		
	070	Posição do NTC nos dois tubos de cobre na zona recta e bem encostado		
	080	Caixa com 2 proteções anti-corte		
	090	Existência de chapa de caraterísticas com referência correcta e sem sujidades		
	100	Existência e posição clips e grampos (x24) - (inclui os da WB7)		
	110	Existência tubo entrada ar e borracha branca do ventilador		
111	Falta de selo e de tinta de ensaiador			
Exterior da caldeira	120	Existência da porca plástica de aperto da WB7		
	130	Fixação cabo da bomba		
	140	Fixação do cabo do Fluxostato		
	150	Fluxostato na posição correcta		
	160	Existência de filtro na entrada de água		
	161	Permutador de Placas correcto: #234 = 18 Placas <input type="checkbox"/> #235 = 22 Placas <input type="checkbox"/> #236 = 26 Placas <input type="checkbox"/>		
Frente da caldeira	170	Frente com isolamento		
	180	Frente com chapa de marca "Worcester"		
	190	Frente sem riscos, sujidade ou outros defeitos		
Painel de Comando	200	Posição do tubo de manómetro		
	210	Posição do manómetro		
	220	Painel da electronica sem folgas excessivas		
	230	Roscas da caldeira conformes		
	240	Existência da barra inferior e peça laranja de tamponamento		
Caixilho da caldeira	250	Roscas do caixilho conformes		
	260	Existência de O'ring e tampa no vaso de expansão		
	270	Existência e rebites no caixilho (x20)		
	280	Existência no caixilho de 5 torneiras (2 água -1/2" + 2 água ext. 3/4" + 1 gás 3/4" na posição correcta		
	290	Existência de passa cabos no caixilho e bem posicionado		
	300	Existência de peça plástica laranja no caixilho e bem posicionado		
	310	Existência de peça plástica branca no caixilho e bem posicionado		
Etiquetas, acessórios e embalagem	320	Existência de 6 acessórios (2 no saco dos impressos + 4 fora)		
	330	Existência de Impressos (#800 e #801)		
	340	Existência de 8 etiquetas no aparelho (1-frente, 1-vaso exp., 3-Elect, 1-B.Hidraulico, 1-Saco, 1-cartão)		
	350	Existência de 7 cartões no aparelho <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>		
	360	Existência da etiqueta na embalagem c/nº Serie, lote e Referência conforme		
	370	Posição da caixa de cartão conforme (" Truck Here " deve ficar nas costa da caldeira)		
	380	Posição da caldeiras na paleta conforme (" Truck Here " para o lado de fora da paleta)		
	381	Caixa de Cartão correcta: #234 = 28 CD <input type="checkbox"/> #235 = 32 CD <input type="checkbox"/> #236 = 36 CD <input type="checkbox"/>		
	Obs:			

I:\MOE\103_Hight Output\130_Qualidade\110_Modelos_HO
Mod_009_CDI_Auditoria_Avançada

Figura 9 - Folha de seguimento da Auditoria Avançada

Verifica-se então que existe alocação de dois recursos, as duas auditoras, à execução de uma tarefa de controlo e não à montagem direta das caldeiras sendo que, como já foi referido, a tarefa de Auditoria Avançada é considerada um desperdício pois não acrescenta valor ao produto final.

Este projeto efetuará, então, uma análise das razões da existência deste tipo de controlo de qualidade na linha, tentando chegar à raiz do problema. Para tal, recorreu-se a uma das ferramentas que a filosofia *Lean* sugere para chegar à causa-raiz de um problema, a técnica dos “5 Porquês”. Esta ferramenta foi utilizada pela equipa responsável pela gestão da linha, nomeadamente o responsável de área MOE4 (RA), o engenheiro de processo associado à S875 e o responsável da qualidade do grupo, que ajudaram a responder às questões que permitiram clarificar a necessidade da utilização da Auditoria Avançada.

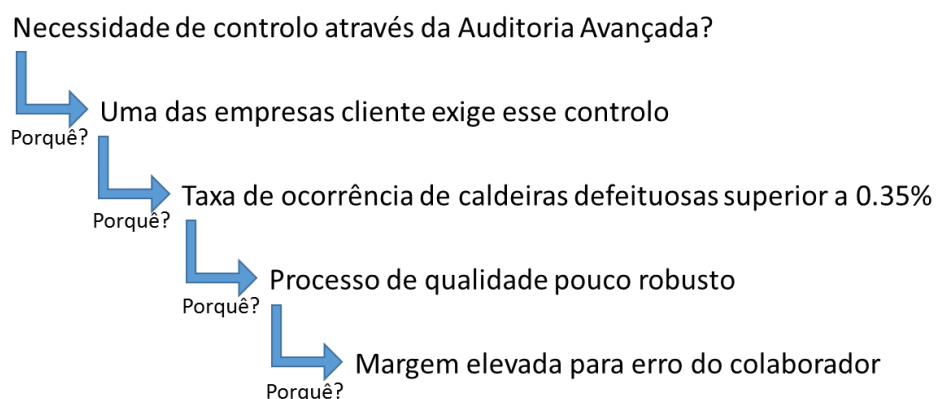


Figura 10 - Análise geral dos "5 Porquês"

Observando os resultados da análise geral do problema, através da técnica dos “5 Porquês” (que consta na Figura 10), podemos concluir que a necessidade de existência da Auditoria Avançada se deve ao facto de se verificar uma ocorrência de erros de montagem acima do nível exigido pelos clientes na montagem das caldeiras.

De acordo com a metodologia *Lean*, seguindo os passos da ferramenta PDCA, pode definir-se então que o problema em questão se encontra na alocação de dois recursos humanos à tarefa de controlo de qualidade, pois não existem condições no processo de montagem que garantam que esse mesmo controlo seja efetuado no posto, o que permite a passagem de erros para o cliente.

Torna-se então necessário dividir o problema para que seja possível identificar de forma clara os motivos da ocorrência desses erros e identificar as suas causas. Para tal, efetuou-se um estudo aos resultados obtidos na Auditoria Avançada.

3.5 - Resultados da análise à Auditoria Avançada

Com o objetivo de interpretar melhor o problema em questão, entrando assim na segunda tarefa da fase de planeamento do ciclo PDCA (divisão do problema), procedeu-se, no início de 2016, à análise dos resultados da Auditoria Avançada referentes ao último semestre do ano anterior. Estes dados incluem o número e tipo de modos de falha encontrados por dia, bem como o número de caldeiras produzidas.

Tabela 1 - Modos de falha encontrados no último semestre de 2015

Modos de Falha	Ocorrências T1	Ocorrências T2	Nº de ocorrências	%Frequência	%Acumulada
Clip mal montado	48	74	122	56.74%	56.74%
Ausência de rebite no caixilho	8	8	16	7.44%	64.19%
Ausência de barra inferior	7	6	13	6.05%	70.23%
Ausência de passa-cabos	1	8	9	4.19%	74.42%
Ausência de anti-corte	4	5	9	4.19%	78.60%
Ausência de etiqueta no bloco hidráulico	3	5	8	3.72%	82.33%
Ausência de filtro de água	4	3	7	3.26%	85.58%
Ausência de tinta e selo no ensaiador	3	4	7	3.26%	88.84%
Posição incorreta dos fios do fluxostato	2	2	4	1.86%	90.70%
Frente com risco	2	1	3	1.40%	92.09%
Ausência de etiqueta no vaso de expansão	0	2	2	0.93%	93.02%
Ausência de clip da WB7	0	2	2	0.93%	93.95%
Posição incorreta da caixa na palete	2	0	2	0.93%	94.88%
Ausência de porca da WB7	1	1	2	0.93%	95.81%
Fixação do suporte inferior incorreta	2	0	2	0.93%	96.74%
Posição incorreta dos terminais WB7	1	0	1	0.47%	97.21%
Grampo mal montado	1	0	1	0.47%	97.67%
Ausência de tampa no vaso	0	1	1	0.47%	98.14%
Ligação incorreta dos terminais da WB7	1	0	1	0.47%	98.60%
Caixa de comando com visor riscado	1	0	1	0.47%	99.07%
Visor da eletrônica riscado	1	0	1	0.47%	99.53%
Ausência de barra laranja	0	1	1	0.47%	100.00%
Total	92	123	215	100%	100%

Partindo das folhas de listagem dos modos de falha encontrados na auditoria avançada (Anexo B) foram, então, recolhidas as informações quanto aos tipos de irregularidades encontradas durante o período analisado considerando todas as não-conformidades detetadas nesse semestre. Estas foram depois agrupadas obtendo-se os dados que se encontram na Tabela 1.

Nesta tabela é possível observar quais os tipos de modos de falha que ocorreram, por turno e no total, e em que quantidade, durante os últimos seis meses do ano de 2015. É, portanto, o ponto de partida na identificação das perdas de qualidade na montagem das caldeiras da S875. Os diferentes defeitos estão organizados, de forma decrescente, por número de ocorrências. A frequência que cada modo de falha tem quando é detetada uma não-conformidade também se encontra evidenciada na tabela, bem como a acumulação destas. Pode-se, desta forma, verificar que a irregularidade com maior incidência está relacionada com a má montagem dos clips que ocorre com tanta frequência que representa mais de metade dos erros detetados.

Dado que os modos de falha analisados são (na sua maioria) correspondentes a tarefas realizadas em postos diferentes e sendo que a correta ou incorreta realização destas tarefas não implica o surgimento de outros modos de falha resultantes de tarefas realizadas noutros postos, considerou-se que cada defeito encontrado corresponderia a uma caldeira defeituosa, situação que foi verificada aquando da recolha dos dados (tendo existido uma única exceção em que numa caldeira foram detetados dois erros de montagem, nomeadamente, um clip mal montado e a ausência de anti-cortes).

É também importante perceber, ao longo do semestre em análise, quando é que estas situações de não-conformidade na montagem foram encontradas. A partir dos dados recolhidos (Anexo B), elaborou-se o gráfico da Figura 11, que mostra a variação semanal da ocorrência de defeitos das caldeiras auditadas no semestre em questão (em percentagem).

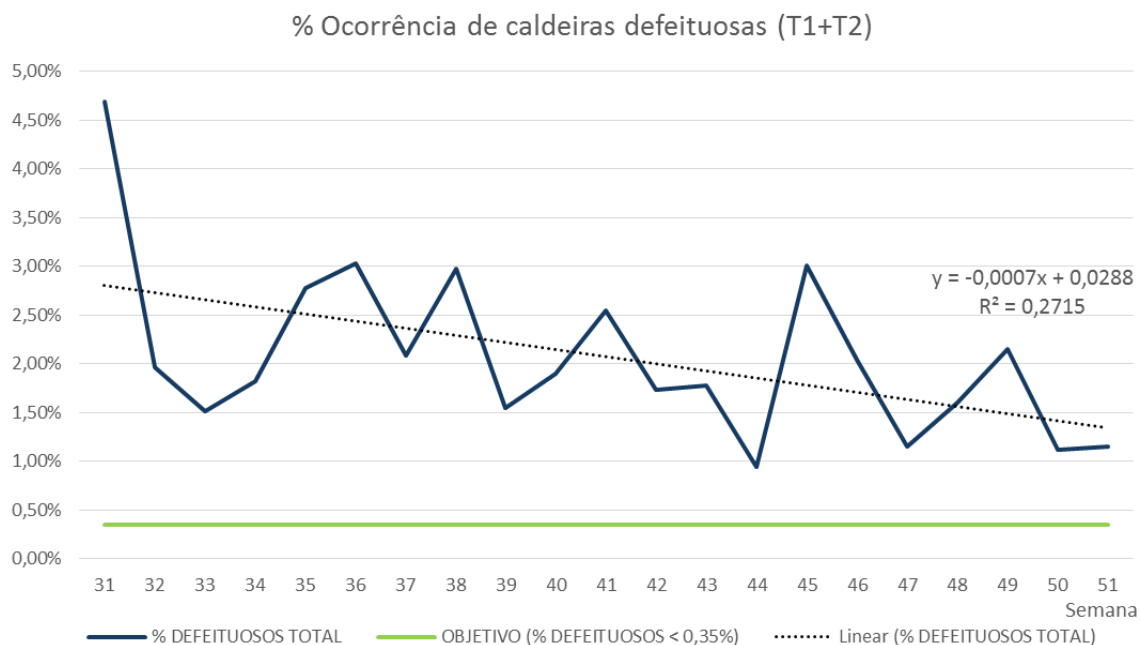


Figura 11 - Percentagem de ocorrência total de caldeiras defeituosas (T1 + T2)

Como se pode observar, no período analisado, o número de ocorrências de modos de falha teve uma tendência negativa, ainda que pouco significativa, mesmo sem terem sido implementadas quaisquer medidas de prevenção do erro. Esta tendência pode dever-se a uma atenção redobrada por parte dos operadores que, ao verem que está a ser realizado um estudo na linha, têm um maior cuidado para evitarem cometer falhas. Apesar da tendência negativa, a percentagem de ocorrência de defeitos registada continua bastante acima do limite exigido pelos clientes. Existe portanto um desvio entre os valores de ocorrências de não-conformidades obtidos e o valor pretendido. É por causa da existência deste desvio que surge a necessidade de um controlo de qualidade rigoroso, através da utilização da Auditoria Avançada, de modo a que sejam detetados os erros ainda na linha, para que estes possam ser corrigidos e, assim, reduzir a probabilidade de chegarem caldeiras defeituosas ao cliente.

Tabela 2 - Resultados da Auditoria Avançada no 2º semestre de 2015

	Turno 1	Turno 2	Total
Nº de defeituosos	92	123	215
Produção	10786	11419	22205
Auditoria A.	5072	5378	10450
Amostra	47,02%	47,10%	47,06%
% de defeituosos	1,81%	2,29%	2,06%

Na Tabela 2 encontram-se os valores do número de caldeiras defeituosas (ou número de defeitos) encontradas pela Auditoria Avançada no último ciclo de 2015, por turno e na sua totalidade. De igual modo são também apresentados os valores do número de caldeiras produzidas e o número de caldeiras auditadas. É posteriormente calculado a dimensão da amostra analisada (em percentagem), através da divisão do número de caldeiras auditadas pelo número de caldeiras produzidas. Também é calculada a proporção de caldeiras defeituosas encontradas, através da divisão do número caldeiras defeituosas pelo número de caldeiras auditadas.

Como foi mencionado anteriormente, durante este período a Auditoria Avançada apenas teve capacidade para auditar 47.06% das caldeiras produzidas, valor que é também mostrado na Tabela 2. Quer isto dizer que mais de metade da produção não foi auditada, ou seja, existe a possibilidade de que tenham passado para o cliente caldeiras em que as não-conformidades acima assinaladas estivessem presentes, ou seja caldeiras que, segundo as normas de qualidade da Bosch, são consideradas como defeituosas. Verifica-se, assim, a necessidade de analisar o processo de montagem dos componentes relacionados com os tipos de falha indicados na Tabela 1 e perceber qual o motivo para o seu aparecimento.

É ainda importante realçar que, sabendo-se o número de caldeiras produzidas e auditadas no último semestre de 2015, bem como o número de caldeiras com não-conformidades encontradas pela Auditoria Avançada, conseguiu-se apurar que a percentagem de caldeiras defeituosas, face ao número de caldeiras auditadas, foi de 2.06%, de acordo com a amostra (Tabela 2), o que permite estimar que a proporção de caldeiras defeituosas produzidas na linha estaria no seguinte intervalo [1,79; 2,33] %, com 95% de confiança.

Para que seja possível eliminar a Auditoria Avançada no processo de montagem das caldeiras CDi, é necessário provar que se consegue ter um nível de ocorrência de caldeiras auditadas defeituosas (ou seja, de defeitos) inferior a 0.35%.

Assim, e tendo por objetivo seleccionar quais os modos de falha mais frequentes e que, por esse motivo, devem ser analisados com maior detalhe, efetuou-se uma Análise de Pareto, cujo resultado se encontra na Figura 12.

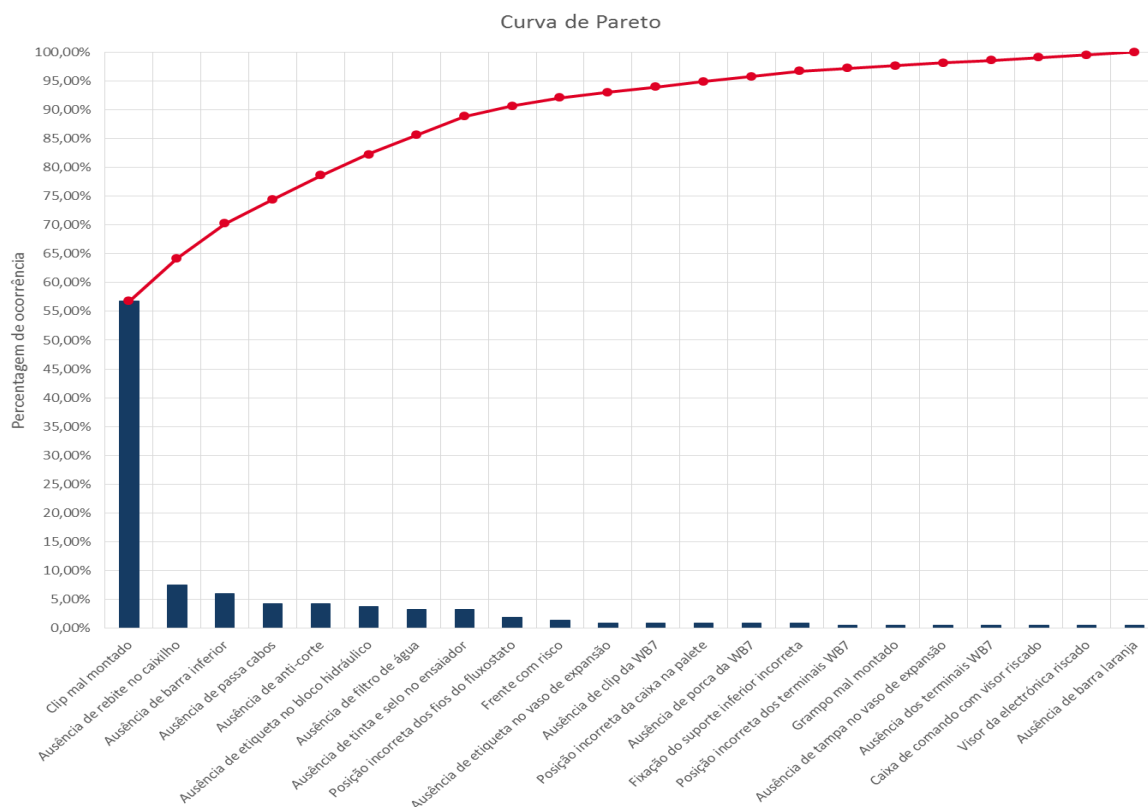


Figura 12 - Análise de Pareto

A Análise de Pareto permitiu assim identificar os modos de falha mais frequentes. A análise dos mesmos permitiu seleccionar (tendo por base a informação da Tabela 3) sete modos de falha que, se eliminados permitiriam atingir uma percentagem de defeituosos inferior a 0,35%. Esses sete modos de falha que foram escolhidos representam cerca de 32% dos tipos de modos de falha observados e são responsáveis por mais de 85% das ocorrências (ver Tabela 3).

Tabela 3 - Tabela auxiliar para a Análise de Pareto

Modos de Falha	Nº de ocorrências	Acumulado	% Defeituosos conseguida
Clip mal montado	122	122	0,89%
Ausência de rebite no caixilho	16	138	0,74%
Ausência de barra inferior	13	151	0,61%
Ausência de passa-cabos	9	160	0,53%
Ausência de anti-corte	9	169	0,44%
Ausência de etiqueta no bloco hidráulico	8	177	0,36%
Ausência de filtro de água	7	184	0,30%

Na última coluna da Tabela 3, podemos verificar a percentagem acumulada de ocorrência de unidades defeituosas (ou de defeitos) que se poderia obter caso se eliminasse

completamente o modo de falha que lhe é correspondente e todos os modos de falha anteriores (que estão nas linhas acima) (por exemplo, 0,61% seria a percentagem de defeituosos, face ao número de unidades auditadas, que se registaria, quando eliminadas as seguintes não-conformidades: ausência de barra inferior, ausência de rebite no caixilho e clip mal montado). Analisando a incidência dos modos de falha indicados na Tabela 3, e propondo soluções que previnam a sua ocorrência, estima-se que se conseguiria obter uma percentagem de caldeiras defeituosas de 0,30%, valor abaixo do limite definido para que se possa eliminar a Auditoria Avançada (os 0,35%).

Após o desdobramento do problema estipulado no ponto 3.4, “alocação de dois recursos humanos à tarefa de controlo de qualidade, pois não existem condições no processo de montagem que garantam que esse mesmo controlo seja efetuado no posto permitindo a passagem de erros para o cliente”, torna-se necessário definir um objetivo para o projeto. Este é, então, o da eliminação da possibilidade de ocorrência de erros, na montagem das caldeiras CDi, nos modos de falha selecionados, de modo a que a percentagem de ocorrência total de erros seja inferior a 0,35%. Só ao atingir este objetivo é que se pode abandonar o uso do controlo de qualidade através da Auditoria Avançada e, assim, realocar as duas operadoras a funções de valor acrescentado noutros postos da fábrica, o que teria, naturalmente, um impacto positivo na eficiência da montagem das caldeiras da gama CDi.

Especificado o objetivo do projeto, e considerando os passos da fase de planeamento do ciclo PDCA, é necessário efetuar uma análise detalhada aos modos de falha que foram selecionados e encontrar qual a raiz do problema para cada um. Só deste modo se pode chegar a uma solução que irá conseguir resolver o problema em questão e permitir atingir o objetivo definido.

3.6 - Análise dos modos de falha

Como já foi mencionado no ponto anterior é necessário efetuar uma análise aos modos de falha selecionados para que seja possível identificar a raiz do problema. Como os modos de falha são distintos, essa análise deve ser efetuada de modo individual para cada tipo de modo de falha. Como tal, este subcapítulo encontra-se dividido por cada tipo de modo de falha selecionado, por forma a apresentar a informação de um modo organizado. Para cada um é efetuada uma introdução à metodologia de funcionamento de cada posto ou tarefa, o impacto que o modo de falha tem e os motivos de ocorrência das falhas na montagem.

Na fase de análise ao problema a participação dos operadores da S875 foi crucial. As ocorrências de erros foram analisadas em conjunto com as auditoras da linha, bem como com os responsáveis de turno (RT) e os operadores dos postos associados ao modo de falha, de modo a perceber a causa do problema.

a) Clip mal montado

Na montagem dos blocos hidráulicos, componentes que posteriormente são incorporados nas caldeiras, são utilizados 16 clips diferentes, cujo objetivo é a fixação dos componentes à sua estrutura principal. Estes blocos são montados em cima de uma paleta preta com ranhuras, que fazem com sejam colocados em posições específicas que facilitam a montagem dos seus componentes. A montagem é efetuada nos postos 21 e 24 por dois operadores, seguindo-se o ensaio à estanquicidade do bloco, no posto 22. Para terminar, realiza-se um outro teste no posto 23, que tem por finalidade a deteção da presença dos clips no bloco hidráulico, utilizando um sistema composto por duas câmaras de visão e dois sistemas de iluminação.



Figura 13 - Posição correta e incorreta de um clip no bloco hidráulico

Este sistema, porém, só consegue detetar a presença ou ausência dos clips, mas não revela se estes estão na posição correta. Na imagem do lado esquerdo da Figura 13, pode-se observar a adequada montagem de um dos clips do bloco, pois o clip é colocado até ao final, ficando o componente em questão corretamente montado. Já na imagem do lado direito, o clip foi colocado de forma incompleta, o que põe em risco a montagem do componente no bloco.

Utilizando a FMEA interna da empresa para o modo de falha em questão (má colocação de um clip no bloco hidráulico), pode-se verificar quais os riscos que este acarreta para cliente final:

FMEA: Encaixe incompleto do clip - falha manual → tubo de retorno CH solto → produção de peças com defeito → peças com fuga de água no circuito de aquecimento

Este é apenas um exemplo das consequências da montagem incompleta de um clip no bloco hidráulico. No entanto, o efeito da incorreta montagem dos outros clips, conduz sempre ao mesmo resultado: fugas de água no circuito de aquecimento.

É importante, também, averiguar qual é o número prioritário de risco (RPN – *Risk Priority Number*) associado a este modo de falha. Para o caso em questão, o nível de gravidade para o cliente final está avaliado em 8 (de 1 a 10), o nível de ocorrência em 4 e o nível da deteção em 2.

Como já foi mencionado, o sistema de visão do posto 23 não tem capacidade de detetar montagem incorreta dos clips no bloco hidráulico. Foram efetuados testes durante a fase de planeamento do projeto que comprovaram esta situação dado que, o teste de visão apresentava resultados OK (aprovação do teste) quando registava a presença dos clips no bloco, independentemente de estes estarem bem ou mal colocados.

Nestes testes, também se constatou que ocorriam, por vezes, falsas rejeições na deteção da presença dos clips no bloco. O resultado do teste dava como NOK (rejeição do teste), apesar de todos os clips estarem colocados. Quando esta situação ocorria, o operador ajustava a posição do bloco hidráulico na paleta preta em que estava colocado e repetia o teste obtendo, à segunda tentativa, resultados OK.

Verifica-se, então, a necessidade de aumentar a fiabilidade do teste de visão para que este apresente resultados com um nível de exatidão superior na deteção da correta colocação dos 16 clips no bloco hidráulico.

Existe, todavia, um clip em que foram detetados erros de montagem pela Auditoria Avançada, que não é colocado nos mesmos postos em que é montado o bloco hidráulico, pelo que não é realizado o teste à sua presença.

Este clip é encaixado no tubo de retorno HU1 e a sua montagem é efetuada no posto 12. Neste posto, o operador coloca o tubo de retorno num gabari, posiciona dois vedantes e fixa a posição do tubo no gabari utilizando um grampo de fixação vertical (ver Figura 14).

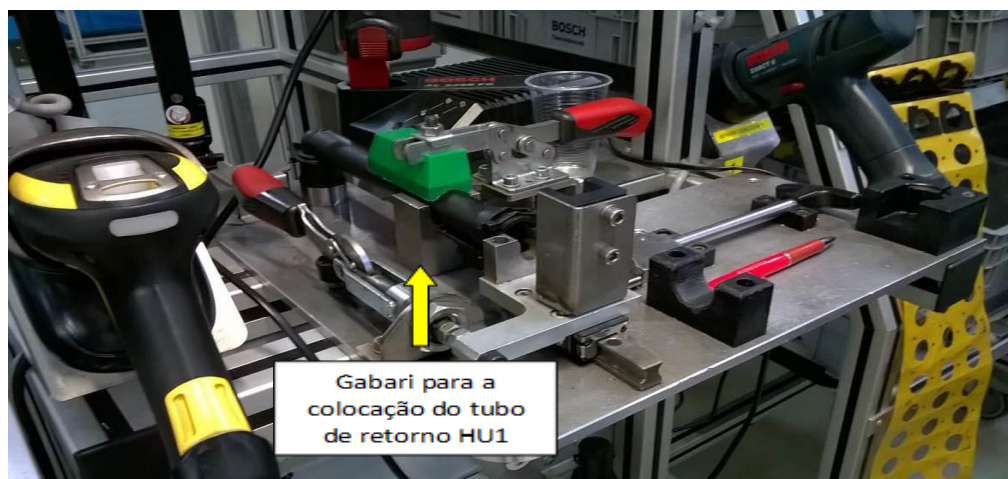


Figura 14 - Posto 12, montagem do tubo de retorno HU1

O sistema detecta se o operador colocou os vedantes e envia uma mensagem para a libertação da peça, mas só depois é que o operador coloca o clip no tubo. Não existe, por isso, qualquer sistema que detete a presença deste clip, nem se o mesmo foi corretamente colocado, ficando à responsabilidade do operador essa verificação (Figura 15).

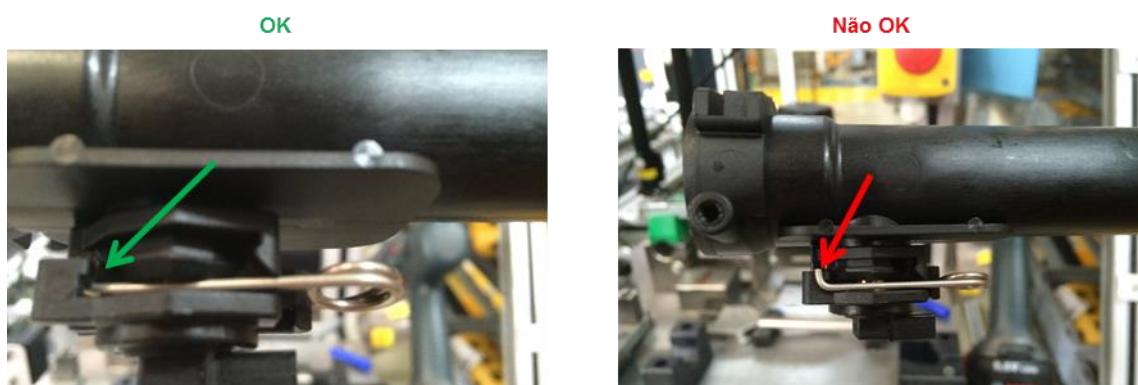


Figura 15 - Posição correta e incorreta do tubo de retorno HU1

b) Ausência de rebites no caixilho

Este modo de falha ocorre numa tarefa desempenhada no início na linha, no posto 10, no processo de montagem da estrutura da caldeira. O operador tem a função de montar as chapas laterais da caldeira na chapa traseira, rebitando-as de modo a que fiquem fixas, como se pode verificar na Figura 16.

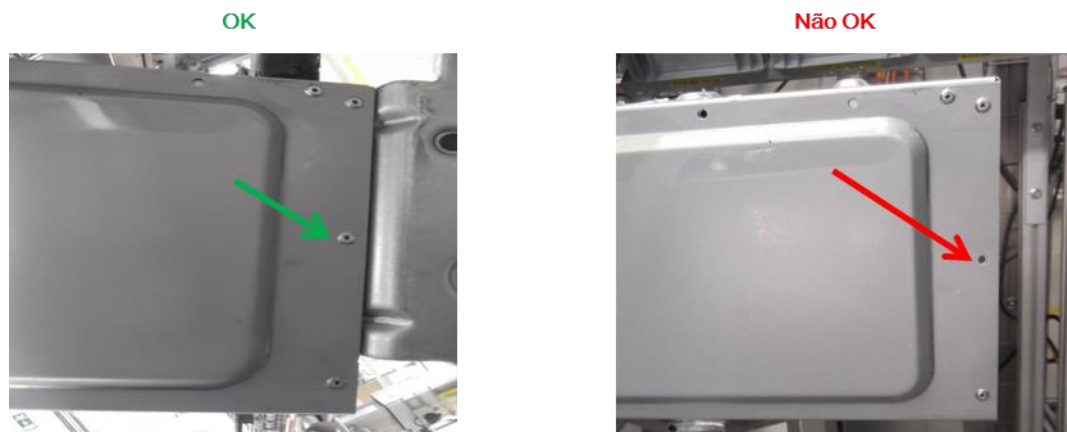


Figura 16 - Correta e incorreta rebitagem do caixilho

Para tal, utiliza uma rebitadora que realiza a contagem dos 14 rebites a ser fixados na estrutura da caldeira. A rebitadora tem um pressostato que mede a pressão normal no tubo de ar e efetua a contagem de um rebite quando a pressão decai de 1bar para 0.5bar, emitindo uma mensagem para o sistema com a confirmação de que o rebite foi colocado. No início deste processo, o operador coloca o carrinho de suporte da caldeira na calha de montagem, faz a leitura do código de barras da estrutura da caldeira e o sistema fica a aguardar a contagem dos 14 rebites. Quando o sistema recebe a informação de que a rebitagem da estrutura foi concluída, liberta o carrinho de suporte da calha de montagem de forma a permitir que este avance para o posto seguinte.

O caso acima descrito acontece quando o sistema funciona em modo automático. Existe também a possibilidade de o sistema ser alterado para modo manual, ficando a contagem dos rebites a cargo do operador. Este modo só deve ser utilizado quando existe um mau funcionamento do modo automático, não sendo permitida a sua utilização em condições normais.

O estudo efetuado ao longo da fase de planeamento permitiu verificar que, por várias vezes, o posto 10 estava a funcionar em modo manual pelo que não foi possível associar os modos de falha relacionados com a falta de rebites no caixilho, com a realização do trabalho em modo automático. Assim sendo, para se perceber o porquê da utilização do sistema em modo manual, questionou-se os operadores da linha, que identificaram a existência de um problema no modo automático que, em certas condições, não efetuava a contagem dos rebites. De facto, durante o processo de rebitagem, a pressão nem sempre descia para os 0,5bar de cada vez que um rebite era colocado, pelo que o processo acabava por não ser validado. Isto obrigava o operador a contar todos os

rebites que tinha colocado na caldeira e a validar todo o processo em modo manual, duplicando o tempo de ciclo da tarefa.

Verificou-se, então, a necessidade de reavaliar os limites de pressão da rebitadora e reajustar o funcionamento dos modos automático e manual, de modo a permitir que o primeiro seja, de facto, mais eficaz do que o modo manual na realização da tarefa.

c) Ausência da barra inferior

A barra inferior é colocada na parte final da linha, no posto 81, e tem como objetivo a criação de estabilidade na parte inferior da caldeira, mantendo fixas as duas chapas laterais.



Figura 17 - Presença e ausência da barra inferior

Como se pode observar na Figura 17, do lado direito, existe um suporte em cada uma das chapas laterais onde se coloca a barra para esta ser aparafusada. Na Auditoria Avançada verificou-se que, por vezes, esta barra não era colocada. Foram, então, analisadas as consequências descritas no FMEA para este modo de falha.

FMEA: Aperto do *lower cross support* (barra inferior) não efetuado - falha manual OU *lower cross support* ausente → robustez estrutural da caldeira não garantida

Este tipo de falha está avaliado com um grau de gravidade de nível 6, pois não é garantida a estabilidade da caldeira, tem uma ocorrência de nível 3 e um nível de deteção muito baixo, avaliado em 8 o que resulta num RPN total de 144.

É, por isso, importante criar condições para que este modo de falha não ocorra, de forma a assegurar a qualidade exigida pelos clientes da Bosch.

d) Ausência de passa-cabos

O passa-cabos é uma peça plástica que é colocada nos dois furos do suporte do vaso de expansão, no posto 101. A sua função é a de proteger os cabos que efetuam a ligação ao vaso de expansão e que atravessam o furo do suporte, de forma a evitar que estes se cortem na estrutura metálica.

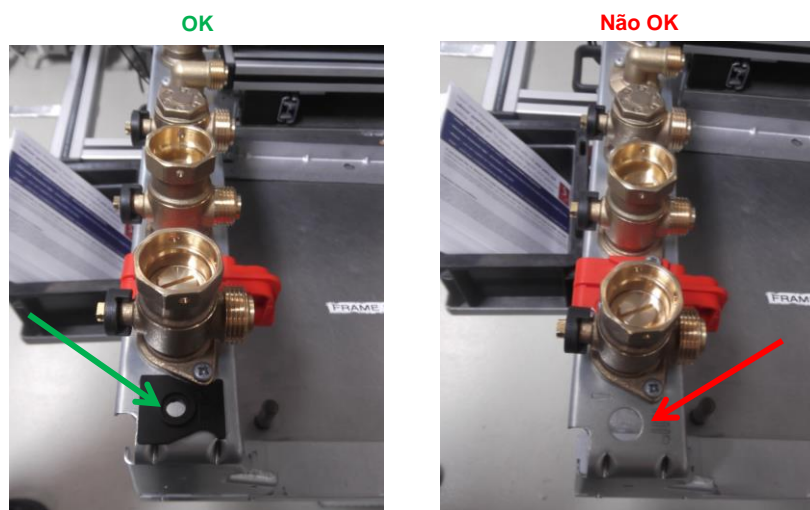


Figura 18 - Presença e ausência do passa-cabos

Na Figura 18, podemos observar à esquerda uma imagem em que o passa-cabos está devidamente colocado na estrutura de suporte, ao passo que na imagem da direita se verifica a ausência do mesmo.

Os resultados da Auditoria Avançada demonstraram que pode existir esquecimento e o passa-cabos não é colocado na estrutura de suporte. Segundo a FMEA, o esquecimento de um dos passa-cabos tem um RPN de 60.

e) Ausência de anti-cortes

A utilização de anti-cortes, tal como o nome sugere, tem como finalidade a proteção do instalador, na medida em que evita que este se corte nas finas extremidades na caldeira. São utilizados três anti-cortes em cada caldeira, existindo dois tamanhos *standard*: um grande, que é colocado no topo da caldeira; e dois mais pequenos, que são utilizados nas chapas laterais.



Figura 19 - Presença e ausência de anti-cortes

A colocação dos anti-cortes na caldeira é feita no posto 43 e, tal como já foi mencionado, a sua ausência é um dos modos de falha que foi encontrado na análise à Auditoria Avançada (ver Figura 19).

Durante a fase de planeamento, tentou-se perceber quais os anti-cortes que eram esquecidos, verificando-se que, quando se registava uma ausência, era sempre do conjunto dos três anti-cortes. Concluiu-se, assim, que o operador se esquecia da tarefa por inteiro e não apenas de colocar um anti-corte específico.

Era, então, necessário criar condições que permitissem eliminar ou diminuir a probabilidade de esquecimento da colocação dos anti-cortes por parte do operador.

f) Ausência de etiqueta no bloco hidráulico

A colocação da etiqueta no bloco hidráulico ocorre no posto 23, após o teste de visão para a deteção dos clips do bloco.



Figura 20 - Presença e ausência da etiqueta do bloco hidráulico

Quando o resultado do teste de visão dá resultado OK, o posto liberta a paleta preta onde o bloco está colocado, permitindo que este avance no posto e fique em espera para ser

colocado na estrutura da caldeira. É neste intervalo de tempo que a etiqueta deve ser colocada no bloco hidráulico (ver Figura 20).

O rolo de etiquetas, como se pode ver na figura abaixo (Figura 21), está colocado ao lado do posto onde se efetua o teste de visão. Este rolo é adquirido a um fornecedor externo (e não há a possibilidade de ser substituído) e as etiquetas estão dispostas em grupos de 3, sendo apenas retirada uma etiqueta para cada bloco hidráulico. Na Auditoria Avançada, foram detetadas várias ocorrências de esquecimento da colocação da etiqueta no bloco, que se deve à distração por parte do operador que trabalha no posto. Apesar de o impacto ser mínimo, segundo os critérios de qualidade exigidos pelos clientes Bosch, esta etiqueta deve estar presente no bloco.

Deve-se, então, adotar medidas que impossibilitem ou, pelo menos reduzam, a ocorrência de erro humano na colocação desta etiqueta.

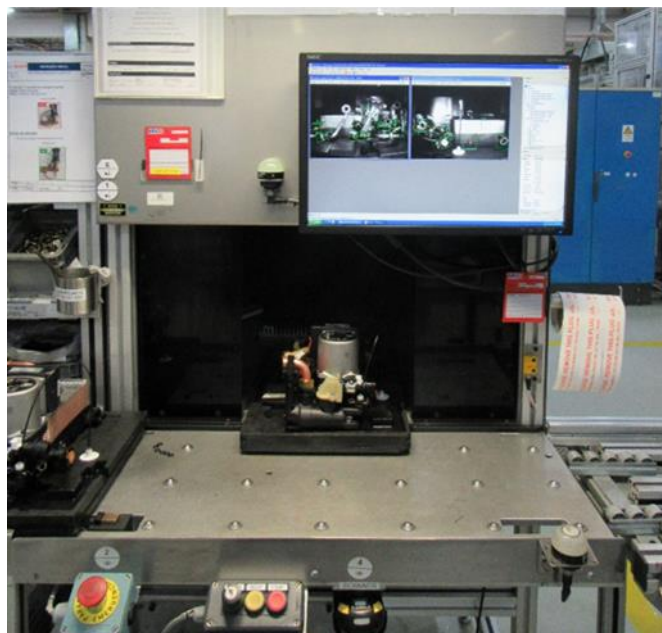


Figura 21 - Posto 23 da linha 7

g) Ausência de filtro de água

A deteção visual da colocação ou ausência do filtro é praticamente impossível, uma vez que o tubo onde este é colocado se encontra na parte inferior da caldeira e na vertical (ver Figura 22).



Figura 22 - Presença e ausência do filtro de água

Para a auditora conseguir perceber se o filtro de água foi colocado, tem de colocar o dedo mindinho no tubo de forma a conseguir sentir a sua presença.

O filtro de água é colocado no tubo de águas sanitárias da caldeira, no posto 80, com recurso à chave que se apresenta na Figura 23.

Na análise do problema, e tal como nos modos de falha anteriores, pode-se concluir que o facto de terem sido encontradas caldeiras sem o filtro de água se deve ao esquecimento por parte do operador e não à eventualidade deste ter caído por ter sido mal colocado.



Figura 23 - Chave utilizada para a colocação do filtro de água

3.7 - Soluções propostas

Com o objetivo de encontrar soluções para evitar os modos de falha selecionados na Análise de Pareto, durante a fase de planeamento deste projeto, efetuaram-se vários *workshops* com toda a equipa de suporte à linha em questão, desde os líderes do grupo MOE4, até aos responsáveis de equipa que coordenam os trabalhadores da S875. Os

operadores dos postos em causa, apesar de não terem participado diretamente nos *workshops* (pois o horário de trabalho não o permitia), foram sempre integrados ativamente em todo o processo de melhoria contínua e revelaram ser uma mais-valia quer na fase de análise, quer no desenvolvimento das soluções que são apresentadas neste relatório, pois a sua experiência na execução das tarefas permite que tenham opiniões bem fundamentadas acerca da resolução dos problemas detetados.

Para conferir um maior foco aos referidos *workshops*, cada um dos mesmos destinou-se apenas à abordagem de um modo de falha específico. As soluções que serão expostas de seguida neste relatório, também foram organizadas dessa forma: em vez de serem apresentadas soluções gerais, serão apontadas soluções para cada uma das não-conformidades estudadas.

Tendo-se definido como objetivo do projeto diminuir a ocorrência de erros na montagem das caldeiras para um valor inferior a 0.35%, garantindo a qualidade destas, as soluções que são apresentadas procuram assegurar a correta realização das tarefas associadas aos modos de falha selecionados anteriormente, sem recurso a uma auditora. Iniciou-se então o último ponto da fase de planeamento do ciclo PDCA que foca no desenvolvimento de contramedidas para as raízes do problema que foram identificados. Pretende-se, assim, garantir o controlo rigoroso das tarefas que a Auditoria Avançada já conferia.

a. Montagem dos clips

Tal como foi mencionado na fase da análise dos problemas, a montagem do bloco hidráulico é posteriormente testada, no posto 23, por um sistema de visão composto por duas câmaras de visão e por duas fontes de iluminação. Este sistema está inserido num posto isolado da luz da fábrica, para evitar que os blocos que estão a ser testados sejam expostos à luz ambiente, o que condicionaria a qualidade do teste. Atualmente, o sistema de visão só tem condições para testar a presença dos clips de fixação dos componentes.

De modo a possibilitar a identificação da correta ou incorreta montagem dos clips, propõe-se a integração de duas câmaras de visão adicionais e de dois conjuntos de sistemas de iluminação por *led*. Reajustando a posição e o ângulo das câmaras já integradas no posto, bem como o sistema de iluminação de apoio, é possível, com a integração dos novos componentes, não só identificar se os clips estão colocados, como verificar se estes foram encaixados na posição correta.

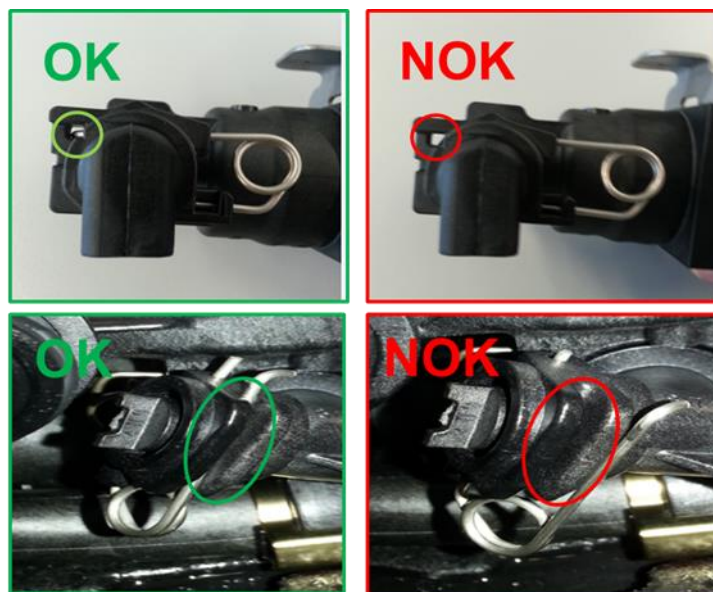


Figura 24 - Diferença entre um clip bem montado e mal montado

Atualmente, o sistema de visão está programado para identificar os clips pelo seu formato, mais concretamente pela parte circular dos mesmos. As câmaras fotografam o bloco e o sistema compara o formato dos clips com o formato padrão que está inserido no sistema. Com as novas câmaras, a perceção e análise do bloco hidráulico pelo sistema serão mais precisas. Nesse caso, para além de conseguir identificar o clip que está inserido, o sistema vai efetuar uma análise adicional à posição do mesmo. Na Figura 24, são demonstrados dois exemplos dessa análise complementar. No primeiro caso, o sistema terá de conseguir detetar o clip na zona do círculo assinalado verde para aprovar o teste. Já no segundo exemplo, o sistema terá de identificar o clip em dois pontos, os quais estão representados pelas extremidades da elipse verde.

Considerando o aumento do nível de detalhe exigido ao sistema de visão, e tendo-se observado problemas (durante a fase de análise) relacionados com a falta de estabilidade do bloco hidráulico na paleta preta em que este é colocado, considera-se também pertinente encomendar novas paletes, cujas medidas terão de ser reajustadas. Com efeito, identificou-se a existência de uma folga elevada entre o desenho das ranhuras do bloco hidráulico na paleta e as medidas do bloco hidráulico em si. Esta folga tornava instável o teste de visão, o que implicava que este tivesse muitas vezes de ser repetido.

Para o caso do clip que é colocado no tubo de retorno HU1 e cuja montagem não ocorre nos postos onde são colocados os outros clips, também se pretende que a correta montagem deste seja validada pelo sistema. Como a frequência de ocorrências de erros na montagem de clips é superior a 50% a prioridade da implementação de soluções para

a resolução da ocorrência deste modo de falha é a mais elevada. Por isso, foi definido que as soluções para este modo de falha teriam que prevenir a ocorrência de mal montagens de todos os clips. Como o tubo de retorno HU1 não é colocado no teste de visão do posto 23, é necessário a criação de uma solução adicional para confirmar se o clip que é colocado neste é colocado em situação conforme. Para isso sugeriu-se implementar uma câmara de visão adicional, no posto 12, que irá validar a montagem do clip. Essa câmara para que possa atuar necessita que a posição dos tubos seja sempre a mesma, para esse efeito propõem-se a utilização do gabari já existente no posto. Como o tubo de retorno é colocado num gabari numa posição específica, e nessa posição a detecção do clip só consegue ser observada por baixo do tubo, a solução proposta passa pela alteração da banca de trabalho no posto, com a criação de um furo na mesa (por baixo do gabari) para colocação da câmara. Essa câmara, à semelhança das que estão implementadas no Posto 23, irá analisar a colocação do clip e verificar no sistema se este está ou não colocado de forma conforme, validando o processo caso esteja. Esta análise irá acrescentar três tarefas ao operador: depois de retirar o tubo do gabari e colocar o clip, o operador volta a colocar o tudo no gabari e pedir ao sistema que efetue o teste de visão, retirando-o caso o resultado seja positivo. Prevê-se que estas tarefas adicionais não tenham um impacto demasiado significativo no balanceamento do posto. Apesar disso foi solicitada uma análise ao balanceamento pelo departamento de Métodos e Tempos (TEF6) que deu sinal positivo à alteração do posto. Mas uma análise mais aprofundada será efetuada aquando o seguimento da implementação da ferramenta.

b. Processo de rebitagem do caixilho

Após a fase de análise do modo de falha que ocorre neste processo (a falta de rebites no caixilho), e tendo em conta que já existe o sistema *Jidoka* no posto (uma rebitadora com contagem de rebites), achou-se por bem aumentar a fiabilidade da solução já existente, em vez da implementação de outras ferramentas de controlo da qualidade. Como foi explicado no capítulo anterior, existem dois modos em que este posto opera: automático e manual. Durante a auditoria ao posto, verificou-se que o operador algumas vezes trabalhava com o sistema em modo manual. Neste modo, o sistema *Jidoka* não faz a contagem do número de rebites colocados e essa tarefa fica a cargo do operador, sendo a probabilidade de ocorrência de erros na contagem superior à verificada no modo automático.

De forma a tornar o processo mais fiável, elaborou-se uma análise aos limites de pressão que eram utilizados para a contagem dos rebites em modo automático, isto é, decidiu-se que era necessário ajustar o limite mínimo para que o sistema reconheça que a queda de pressão foi causada por uma rebitagem.

Para além do ajuste dos limites do pressostato, é importante conseguir que a alteração do modo automático para o modo manual não seja favorável ao operador. No entanto, é necessário continuar a existir a possibilidade de validação de uma rebitagem de forma manual caso, em situações excecionais, ocorra um erro na contagem de forma automática. Surgiu então a solução de que a validação manual pelo operador seja efetuada a cada rebite colocado, em vez de ser realizada apenas no final do processo. Desta forma, é mais vantajoso para o operador trabalhar no novo modo automático, admitindo que os limites de pressão foram ajustados para que a contagem seja exata.

Com estas alterações, a contagem dos rebites passa a ser assegurada e este modo de falha deixa de ser tão recorrente.

c. Montagem da barra inferior

Após a análise do problema da ausência da barra inferior na caldeira, e verificando-se a necessidade de criar condições para que o operador do posto não se esqueça de colocar a referida barra, propõe-se a integração de uma aparafusadora com sistema *Bluetooth* (tecnologia que dispensa a existência de cablagem entre a ferramenta e o sistema, o que poderia constituir um transtorno adicional ao operador durante a execução da tarefa) que efetue a contagem dos dois apertos necessários à fixação da barra na estrutura da caldeira.

No início deste posto (posto 81), e antes de iniciar a instalação da barra inferior, o operador tem de efetuar a leitura do código de barras da caldeira para poder finalizar a rebitagem das chapas laterais. Torna-se, assim, pertinente melhorar a programação deste posto de modo a que, após o sinal de que a rebitagem foi devidamente concluída, emita uma mensagem a informar o operador de que terá de aparafusar a barra inferior. Deve-se, depois, aguardar que a aparafusadora emita dois sinais de aperto, quando efetuado o torque dos parafusos, para então se validar o procedimento. Finda a validação do processo, a caldeira poderá prosseguir para o posto seguinte.

Assim, associando o controlo do sistema ao processo de rebitagem, com a indicação para a colocação da barra inferior e a necessidade de validação deste procedimento, consegue-se garantir que esta tarefa é executada, eliminando-se a ocorrência deste modo de falha.

d. Montagem dos passa-cabos

Para evitar a ausência dos dois passa-cabos na caldeira, propõe-se a criação de medidas que permitam a validação da sua colocação na estrutura de suporte ao vaso de expansão.

Ao contrário do que acontece na maioria dos outros postos da linha (em que a caldeira se encontra no carrinho de deslocação no bordo de linha e a montagem dos componentes é efetuada diretamente na caldeira), este posto (posto 101) tem uma mesa de suporte própria para a montagem das peças. Neste caso, tratam-se de peças acessórias com a função de auxiliar a colocação da caldeira na parede, que são enviadas com a mesma para serem montadas por um técnico certificado no estabelecimento do cliente. Os passa-cabos são colocados num desses acessórios de suporte à fixação da caldeira à parede do cliente, o qual se encontra numa posição única e estável na banca do posto. Assim, para a aprovação da tarefa, sugere-se a integração de uma câmara de visão no topo deste posto, que realize a deteção dos passa-cabos no suporte e valide o processo no sistema.

Neste momento, no início do posto, o operador efetua a leitura do código do acessório de fixação e coloca todas as peças descritas na instrução visual do posto. Após a implementação do sistema de visão, terá também de premir um botão para ativar o teste de visão. Este teste fará, então, o *scan* ao acessório para validar a colocação dos dois passa-cabos.

De forma a aumentar a rentabilidade da solução proposta, a câmara de visão não irá apenas detetar a presença dos passa-cabos, mas também da etiqueta que é colocada no vaso de expansão (que, segundo a Auditoria Avançada, também se encontrava, por vezes, ausente) e do sifão de saída que é colocado na estrutura de suporte do vaso de expansão. Na Figura 25, podemos verificar a localização de todos os componentes que vão ser analisados pelo sistema de visão recomendado.



Figura 25 - Acessório de fixação da caldeira à parede

e. Montagem dos anti-cortes

Para prevenir a falta de anti-cortes na caldeira, e tal como nas soluções anteriormente propostas, pretendia-se a implementação de uma medida que permitisse a validação pelo sistema informático. No *workshop* realizado para este modo de falha, concluiu-se que a solução que melhor se adequava ao objetivo também era a instalação de um sistema de visão, como foi sugerido na situação dos passa-cabos. Porém, tal como foi já referido, ao contrário do que acontece no posto 101, a montagem dos anti-cortes não é efetuada numa bancada, mas sim diretamente na caldeira, que está colocada no carrinho de deslocação com que percorre todos os postos da linha. Neste caso, a estabilidade da caldeira não está garantida, de forma a possibilitar que seja realizado um teste viável, existindo a probabilidade de ocorrência de um número elevado de falsas rejeições, o que poderia atrasar o processo de montagem no posto.

Foi, então, realizado um novo *workshop*, no qual foi encontrada outra solução para o modo de falha em questão, que consiste na implementação, em cada carrinho de transporte das caldeiras, de um suporte para colocação dos anti-cortes. Este suporte é constituído por 3 tubos, dois pequenos e um grande, em que só é possível instalar um anti-corte por tubo. Desta forma, os anti-cortes (dois pequenos e um grande) serão colocados nos tubos do suporte do carrinho num dos postos anteriores e posteriormente instalados na própria caldeira, no mesmo posto que até então desempenhava esta tarefa

(posto 43). A Figura 26 (Bosch Intranet, 2016) ilustra de que forma o processo irá decorrer.

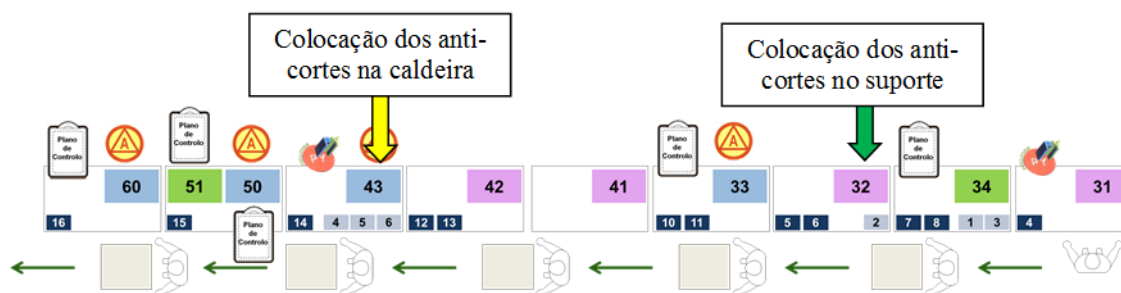


Figura 26 - Exemplificação do processo de montagem dos anti-cortes

Para averiguar quais os postos em que o acréscimo da tarefa iria ter um impacto mínimo na totalidade do processo, foi efetuado um estudo ao balanceamento dos postos anteriores pelo departamento de métodos e números (TEF6). Após essa análise, e feita uma pré-seleção dos postos mais favoráveis, era necessário verificar quais os postos que teriam capacidade de receber nos seus bordos de linha as caixas com os anti-cortes, tendo-se selecionado o posto 32 para a execução da tarefa. Assim sendo, será neste posto que os anti-cortes serão, então, colocados no suporte do carrinho. O posto 33 terá também uma tarefa adicional na sua folha de inspeção, que consiste na verificação da colocação dos anti-cortes no tubo, e até ao posto 43 todo o processo de montagem não volta a sofrer alterações. Para a colocação dos anti-cortes na caldeira, o operador do posto 43 já não os retirará das caixas do bordo de linha, mas sim do suporte que acompanha a caldeira. O operador do posto 50 verificará (como já acontece atualmente) se os anti-cortes estão ou não instalados na caldeira, tal como é indicado na sua folha de inspeção visual. Salvaguarda-se, naturalmente, que estando as tarefas de verificação a cargo dos operadores, existe sempre a possibilidade de ocorrência de erro humano.

Deste modo, repartindo o procedimento de instalação dos anti-cortes por dois operadores e a tarefa de validação da sua colocação por outros dois operadores, e dando maior visibilidade aos anti-cortes ao longo da linha (que por se encontrarem nos suportes do carrinho, são facilmente percebidos pelos operadores dos postos seguintes em caso de esquecimento da sua colocação), diminui-se significativamente a probabilidade de ocorrência deste modo de falha.

f. Colocação de etiqueta no bloco hidráulico

Para a resolução deste modo de falha (a ausência de etiqueta no bloco hidráulico), é proposta a integração de um dispensador automático de etiquetas. Desta forma, pretende-se que após o resultado positivo do teste de visão do posto 23, o sistema detete se o operador retirou uma etiqueta do rolo para ser colocada no bloco hidráulico. Para tal, o dispensador automático terá de ter um sensor de luz que indique a presença ou ausência de uma etiqueta. Uma vez que o rolo de etiquetas tem três etiquetas juntas (e não pode ser alterado, por se tratar de uma peça de compra), obriga a que o dispensador tenha três sensores de visão, um para cada etiqueta.

É, também, necessário a integração de um sistema de bloqueio adicional no posto. Neste momento, já existe um sistema de bloqueio (indicado pela seta vermelha na Figura 27), que só autoriza a passagem do bloco hidráulico para a câmara de teste de visão após a leitura do código de barras do bloco. O sistema de bloqueio adicional deverá ser implementado depois da câmara do teste de visão (como indicado na Figura 27, pela seta verde), e só deverá permitir a passagem do bloco hidráulico após a validação da extração de uma etiqueta do dispensador.

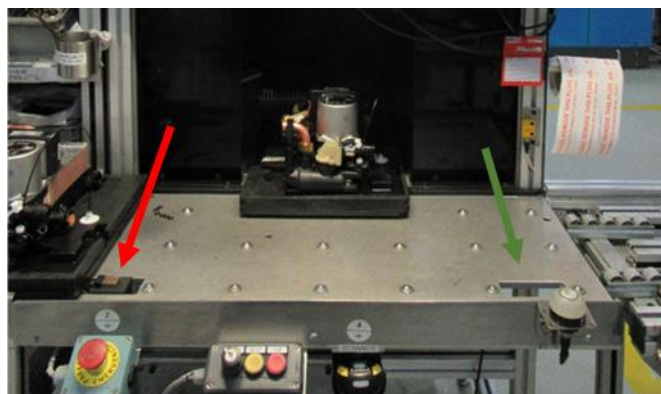


Figura 27 - Sistema de bloqueio do posto 23

A programação do dispensador de etiquetas deverá detetar quando uma etiqueta é retirada e enviar um sinal positivo para o sistema, para que este dê como concluída a tarefa e envie também um sinal para que o sistema de bloqueio permita a passagem do bloco hidráulico. Quando os três sensores detetaram a ausência de etiquetas, o dispensador deve rodar, dispensando um novo conjunto de três etiquetas.

g. Montagem do filtro de água

De modo evitar a ausência de filtro de água na caldeira, propõe-se a substituição da ferramenta usada na colocação deste componente. Para que exista controle na instalação do filtro de água, elaborar-se-á uma ferramenta com um sensor de clique que detete a colocação do filtro de água dentro do tubo de águas sanitárias da caldeira através do impacto que o filtro exerce no sensor ao ser colocado no final do tubo. Essa ferramenta terá um emissor *Bluetooth* que envia automaticamente um sinal ao sistema quando é detetado o clique. Tal como sugerido nas propostas anteriores, após a leitura do código de barras da caldeira no posto, o sistema terá de aguardar resposta da ferramenta de clique para permitir que a caldeira prossiga para o posto seguinte.

Com esta medida consegue-se, então, solucionar o problema do esquecimento da colocação do filtro de água no tubo de águas sanitárias da caldeira.

3.8 - Acompanhamento dos resultados da Auditoria Avançada

Como já foi mencionado, este projeto baseou-se na análise dos resultados da Auditoria Avançada realizada no último semestre de 2015. A seleção dos modos de falha a solucionar teve por base, por isso, o estudo realizado durante esse intervalo de tempo. Porém, o acompanhamento dos resultados da Auditoria Avançada continuou a ser efetuado diariamente, após esse período, numa reunião realizada ao início da manhã com o responsável de equipa deste turno. O objetivo deste acompanhamento era o de perceber se existiam alterações significativas na ocorrência dos modos de falha e implementar medidas diretas que prevenissem o seu surgimento.

Durante esse período, que teve a duração de quatro meses, detetaram-se dois modos de falha cuja ocorrência aumentou de modo considerável, para os quais foi necessária a elaboração de medidas preventivas. Estas não-conformidades, como não estavam englobadas no grupo que estava a ser alvo de análise, tiveram de ser resolvidas com medidas mais simples e não tão robustas como as soluções até agora apresentadas.

Um dos modos de falha em que foi necessário intervir foi a “Posição incorreta das caixas na palete”. Esta irregularidade ocorria no posto 102, posto de embalagem da linha. As caixas em que as caldeiras estavam embaladas tinham de ser colocadas na palete numa posição específica, definida pela etiqueta com a referência da caldeira, colocada na parte superior dessas caixas, como se pode observar na Figura 28. Essa organização específica das embalagens é necessária uma vez que é colocado de seguida um tampo

por cima das mesmas (ver Figura 29), com orifícios que têm de coincidir com as etiquetas para que as referências fiquem visíveis. Só desta forma é possível ao departamento da logística efetuar a leitura dos códigos de barras, antes da paleta ser plastificada e expedida para o cliente.



Figura 28 - Posição das caixas na paleta



Figura 29 - Caixas das caldeiras CDi com o tampo colocado

Verificou-se que o número de ocorrências deste modo de falha aumentou significativamente no turno 2, durante o mês de Janeiro e o início do mês de Fevereiro. Na análise realizada a este problema, constatou-se que esta não-conformidade aumentou durante este período pois havia um novo operador a desempenhar as tarefas do posto 102. Observou-se, também, que não existia no posto qualquer tipo de informação relativamente à correta posição das caixas na paleta.

Para solucionar esta questão, foi criada uma ficha de Instrução Visual (IV) que permite ao operador verificar de uma forma simples como é que uma determinada tarefa deve ser executada (neste caso, relacionada com o correto posicionamento das embalagens das caldeiras na paleta). Esta IV (ver Figura 30) foi aprovada pelos devidos responsáveis e colocada no posto 102. Desde então, o modo de falha em causa não voltou a ocorrer.




 BOSCH		INSTRUÇÃO VISUAL		IV-0203
SECÇÃO S875		EMBALAGEM		Página 1 de 1 N.º inventário: Posto n.º 102
<p>Problema: Caldeiras colocadas em posição incorreta Causa: Falha Humana Efeito: Impossibilidade de ler código de barras das caldeiras após a colocação da tampa de cartão.</p>				
<p style="color: green; text-align: center;">Posição correta das caldeiras</p> <div style="display: flex; align-items: center;">  <div style="margin-left: 20px;"> <p>3 etiquetas no sentido do corredor</p> <p>3 etiquetas no sentido do posto 102</p> </div> </div> <div style="margin-top: 20px;"> <p>Exemplo etiqueta "Serial Number"</p>  </div>				
		<p style="color: red; text-align: center;">Importante</p> <p>Após a colocação da tampa de cartão no armazém de expedição, as etiquetas "Serial Number" devem estar visíveis para posterior picagem do código de barras</p>		

Figura 30 - Instrução Visual (IV) para o posto 102

Outro modo de falha cujo número de ocorrências fez com que fosse necessário intervir foi a “Ausência de selo e tinta no ensaiador”. Apesar de não ter tido um pico de ocorrências como o caso anterior, o número de situações registradas foi tão elevado como alguns dos casos que foram estudados neste projeto.

Este modo de falha ocorre no ensaio de estanquicidade das caldeiras, nos postos 70 e 71, onde são testados os vários circuitos (água, gás e ar) para detetar se existe alguma fuga. No final deste teste, é colocado um selo num dos tubos, que posteriormente é pintado com uma tinta amarela, para demonstrar ao instalador que a partir daquele ponto não ocorreram alterações na estanquicidade desses circuitos (ver Figura 31).



Figura 31 - Ensaaiador devidamente selado e marcado

De modo a evitar-se o esquecimento da aplicação do selo e da tinta do ensaiador, propôs-se a integração de uma nota no ecrã que acompanha o ensaio de estanquicidade de cada posto. Após o resultado OK do teste, deverá surgir uma mensagem a relembrar o operador da execução da tarefa. Essa mensagem terá depois de ser validada pelo próprio operador, confirmando no ecrã que a mesma foi desempenhada.

Esta alteração só poderia ocorrer quando fosse efetuada a atualização do *software* utilizado pelos postos com bancadas de ensaio de estanquicidade, sabendo-se que a mesma aconteceu após o término deste projeto.

No entanto, enquanto se aguardava por essa atualização de *software*, e após a verificação da sequência de tarefas desempenhadas pelo operador, decidiu-se colocar um sistema visual provisório, que servisse como lembrete para a execução da tarefa, num local que o operador tivesse de utilizar antes da selagem. O material necessário para a execução da tarefa já se encontrava num local adequado. Na Figura 32 está representado o local (imagem da esquerda) onde foi colocado o referido aviso (imagem da direita), devidamente plastificado de modo a não sofrer danos.



Figura 32 - Sistema visual provisório nos postos 70 e 71

Desde que foi colocado o aviso, não se verificaram mais ocorrências deste modo de falha.

3.9 - Gestão do projeto

Tendo sido desenvolvidas propostas de contramedidas para os problemas de qualidade identificados pela Auditoria Avançada iniciou-se uma etapa intermédia no ciclo PDCA entre a fase de planeamento e a fase de implementação. Esta etapa foi inteiramente dedicada à seleção de empresas parceiras que fossem capazes de desenvolver e implementar as contramedidas que foram sugeridas neste projeto. Esta parceria deve-se ao facto de muitas das propostas, particularmente os sistemas de deteção por visão, serem demasiado técnicas para serem desenvolvidas internamente na empresa. Apesar da necessidade de intervenção de entidades externas à empresa para o desenvolvimento das soluções também se procurou oportunidades de desenvolvimento interno. O desenvolvimento para a solução para o modo de falha de ausência de anti-cortes, o suporte adicional no carrinho de suporte às caldeiras, foi proposto ao departamento de manutenção (TEF1) interno da Bosch Termotecnologia, S.A., por este ser capaz de o desenvolver de forma eficaz sem implicar custos desnecessários.

Até à data de término deste projeto foram encontrados parceiros que aceitaram o compromisso do desenvolvimento das contramedidas propostas. Todos estes parceiros (que, por questões de confidencialidade solicitada pela empresa, ficarão anónimos) são colaboradores que já desenvolveram um variado conjunto de projetos na Bosch Termotecnologia, S.A., estando certificados pela empresa. Esta experiência de trabalho dos fornecedores oferece garantias ao bom desenvolvimento das ferramentas a implementar e facilita toda a gestão do projeto.

Com a implementação das soluções, e como já foi mencionado, é esperado que o número de ocorrências de erros na montagem se reduza de 2.06% para 0.30%. Este

valor é conservador dado que considera apenas os sete modos de falha selecionados, sendo que as soluções propostas não abrangem apenas esses sete modos de falha. Por exemplo, a implementação do sistema de visão no posto 101 não vai apenas garantir a correta execução da colocação dos dois passa cabos, mas também permite a deteção da colocação do sifão de saída e da etiqueta do vaso de expansão, cuja ausência da colocação destes foi também detetada durante a Auditoria Avançada. A implementação adicional de medidas de prevenção da ocorrência de erros na colocação das caixas na paleta e a selagem do ensaiador também contribui para uma diminuição do valor de ocorrências de erros na montagem das caldeiras CDi no final do projeto.

Espera-se assim que, após a correta implementação das contramedidas propostas com este projeto, o objetivo inicialmente definido, diminuir a ocorrência de erros na montagem das caldeiras para um valor inferior a 0.35%, seja alcançado. Atingido este objetivo, e após um período de estabilização do projeto que permite analisar se as soluções implementadas estão a funcionar como é esperado, pode-se dispensar a necessidade do controlo de qualidade através da Auditoria Avançada, libertando as duas auditoras para a realização de tarefas de valor acrescentado noutras secções de fabrico da Bosch Termotecnologia, S.A.

Os ganhos que estão previstos serem alcançados após a implementação deste projeto estão principalmente centrados na eliminação do desperdício de utilização de dois recursos para a elaboração de tarefas de valor não acrescentado (as auditoras). É estimado que, ao reduzir dois operadores da linha de montagens das caldeiras CDi, o valor do ganho seja de 30.000€ anuais. Este valor apenas contempla os resultados obtidos pela eliminação de dois operadores na linha mas, para além deste valor, ainda se obtém ganhos que advém do aumento da eficiência no processo de montagem de caldeiras. Nomeadamente, ao diminuir o valor de ocorrência de erros, diminui o tempo gasto em retrabalho. Em relação ao aumento da eficiência, prevê-se um aumento de 0,30% do valor correspondente a toda a fábrica, e que advém da eliminação da auditoria avançada e da alocação das operadoras a tarefas de valor acrescentado. A eficiência na secção 875 também vai ser aumentada em, pelo menos 1,76%, devido à eliminação da probabilidade de ocorrência de erro na montagem das sete tarefas para as quais foram desenvolvidas medidas de controlo no posto. Como já foi explicado anteriormente, também este valor é conservador pois existem mais modos de falha que serão afetados por estas medidas.

Os custos relativos à implementação de todo o projeto permanecem confidenciais, tal como as empresas que foram contactadas até à data mas, apesar disso pode-se salientar que o retorno do investimento a ser efetuado deverá, previsivelmente, ser alcançado no prazo de um ano.

Este projeto, tal como os demais projetos desenvolvidos na Bosch, teve de ser apresentado a todos os departamentos da empresa para que a sua execução fosse aprovada. Esta apresentação foi realizada numa das reuniões quinzenais, o BPS *Make*, na qual são apresentados os projetos de melhoria contínua que afetam toda a área de produção da Bosch Termotecnologia, SA.

Na apresentação deste projeto foi utilizada a ferramenta A3. Esta ferramenta permite a exposição do problema de uma forma simples, bem como de todas as datas críticas previstas para o desenvolvimento do projeto, de acordo com o ciclo PDCA (*Plan – Do – Check – Act*), analisando o problema, bem como a solução e os ganhos esperados.

Na Figura 33, está representada a metade esquerda do A3, a qual se relaciona sobretudo com a fase de planeamento do projeto – fase P do ciclo PDCA. No topo encontra-se a indicação do título do projeto e da data de início do mesmo, bem como a apresentação de toda a equipa envolvida na sua elaboração, sendo o primeiro nome que surge o do *Project Lider*, responsável pela execução do projeto.

Na segunda parte do A3, *Current State*, está representado o estado atual do problema em averiguação aquando do início do projeto, onde são expostos alguns dos gráficos que já foram mencionados no ponto 3.5 (Resultados da análise à Auditoria Avançada) e que demonstram o estado atual da S875 da Bosch Termotecnologia, S.A., como é o caso do gráfico do número total de defeitos e do Diagrama de Pareto. Também é aqui que são identificados os modos de falha que foram analisados e a percentagem de ocorrência dos mesmos.

Na terceira tabela, *Problems*, são descritos os fatores que despoletaram a criação do projeto e que são impulsionadores da necessidade de criação de soluções que obtenham resultados favoráveis à organização.

Na quarta divisão do A3 estão indicados os KPI's nos quais o projeto terá impacto, organizados do geral (macro) para o específico (micro), ou seja, são primeiramente enumerados os KPI's que vão afetar a organização na sua globalidade e só depois os KPI's que influenciam apenas os postos que sofreram alterações.

Por fim, a última parte da metade esquerda do A3, *Performance Metrics*, está relacionada com o seguimento dos KPI's após a implementação do projeto. Esta é a fase *Check* do ciclo PDCA.

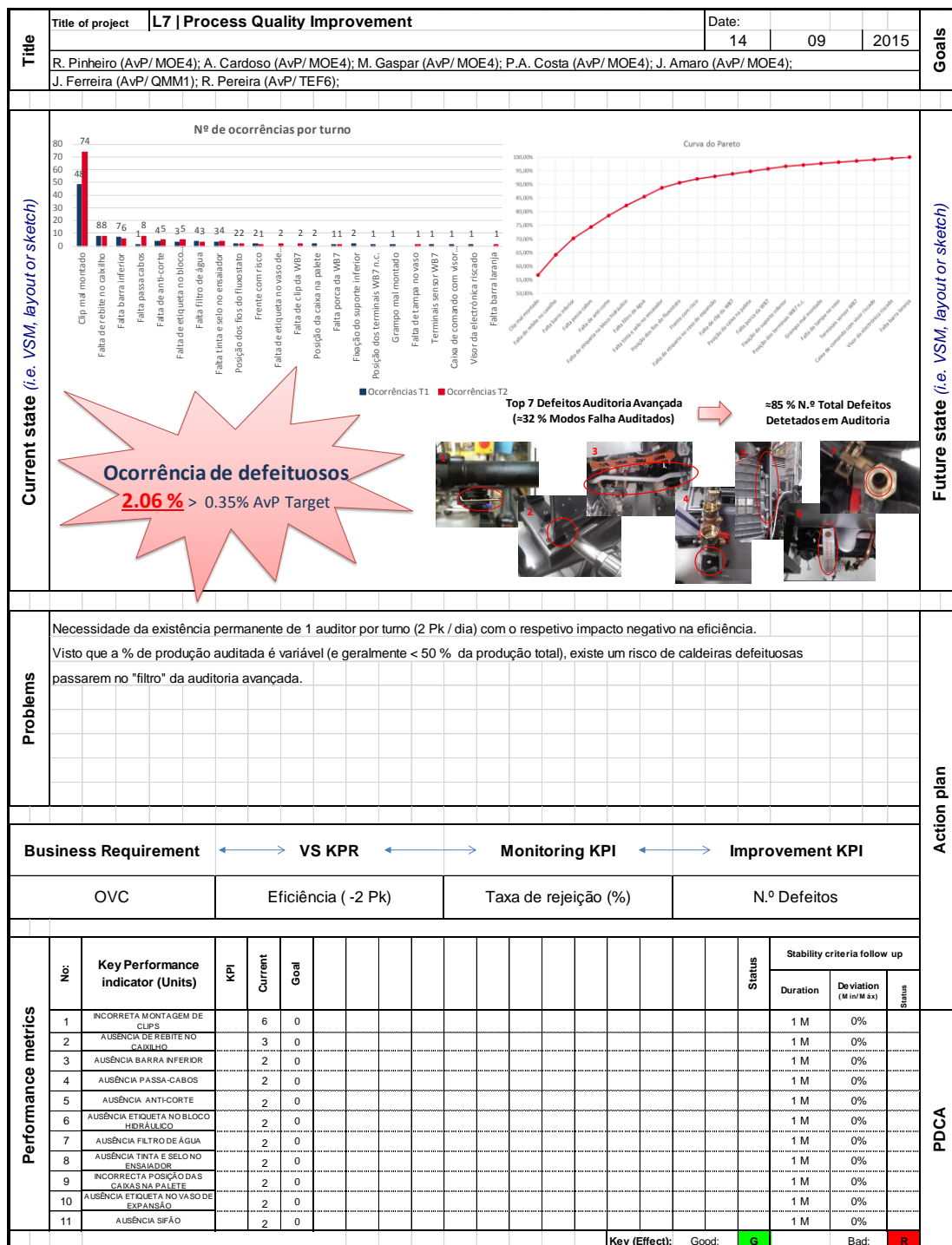


Figura 33 - Metade esquerda do A3

A segunda metade do A3 está relacionada com os objetivos finais e com a fase de implementação do projeto (ver Figura 34).

66

Figura 34 - Metade direita do A3

A segunda tabela, *Future State*, é talvez uma das mais importantes do A3 para a organização, na medida em que é a fase onde são apresentados os resultados que se esperam atingir com o projeto. No caso do projeto em questão, é nesta tabela que podemos aceder ao plano de ações e respetivos investimentos, bem como aos ganhos que o projeto irá representar quer para a Secção 875, quer para a empresa.

Na terceira parte, *Action Plans*, são apresentadas as ações mais significativas a implementar e a respetiva sequência, para além da indicação das semanas em que é prevista a finalização de cada ação. Depois de concluídas, estas ações são avaliadas na coluna *Effect*.

Tendo em conta que os projetos devem ser sempre acompanhados pela direção da empresa, os respetivos responsáveis tiveram de validar cada fase do ciclo PDCA, assinando no espaço correspondente, como se pode observar na última parte do A3.

O projeto teve sinal positivo para avançar por parte da direção da Bosch Termotecnologia, S.A. Até à data de término do projeto todos os contactos com os fornecedores foram efetuados e os orçamentos definidos tendo ficado agora, a cabo da equipa MOE4, a definição do calendário de implementação das respetivas soluções em conjunto com as empresas parceiras. Após a implementação das soluções segue-se um período de estabilização do projeto que ficou definido como devendo ser um mês. Nesse período as auditoras vão continuar a desempenhar as suas funções normais, validando as soluções implementadas e, se após esse período não for detetado qualquer tipo de erro de montagem nas tarefas afetadas por este projeto, pode dar-se por concluído todo o projeto. Na eventualidade de surgir algum erro numa determinada tarefa toda a ferramenta implementada que está associada a essa tarefa será revista, quer pelo engenheiro de produção associado à S875, quer pela empresa parceira que desenvolveu a solução de modo a determinar a origem do erro e corrigi-la. Após corrigido esse erro inicia-se novamente o período de estabilização de um mês para averiguar se a correção do erro solucionou ou não o problema. Finalizado o período de estabilização, as operadoras deixam de desempenhar a sua função de auditoras e serão transferidas para a linha de preparações, S855, onde desempenharão tarefas de valor acrescentado.

Após o término do período de estabilização e da transferência das auditoras para a nova secção os resultados do projeto são apresentados noutra reunião do BPS *Make*, reunião esta em que se dá o fecho do projeto, com o consentimento por parte da direção que assina o A3 associado a todo o projeto, concluindo assim todo o processo.

Capítulo 4 - Conclusão

4.1 - Conclusões gerais do projeto

Este projeto foi desenvolvido na Bosch Termotecnologia, S.A., no âmbito da filosofia de melhoria contínua da empresa, o *Bosch Production System*. A filosofia interna da empresa estimula ao desenvolvimento de vários projetos de melhoria contínua, em diferentes áreas e com diferentes objetivos. Qualquer colaborador Bosch pode propor à direção um projeto de melhoria contínua que, ao ser aceite, tem o total apoio dos vários departamentos internos da empresa. Esta atitude da empresa contribui para o aumento da motivação e para o desenvolvimento de projetos que permitem aumentar o desempenho da própria Bosch.

Com o objetivo de aumentar a eficiência de área MOE4, mais em concreto na S875, procurou-se encontrar soluções que prevenissem falhas de qualidade devido ao erro humano. Como a secção em questão é uma de alto rendimento, o nível de controlo exigido pelos clientes é também elevado. Foi importante provar que a secção era capaz de efetuar a montagem das caldeiras com um nível de incidência de defeitos detetados na auditoria avançada inferior a 0.35%, limite mínimo para se poder efetuar a montagem das caldeiras sem uma auditora a efetuar o controlo.

Para a resolução dessas falhas de qualidade, o recurso a sistemas *Poka-Yoke* e sistemas *Jidoka*, são duas das soluções que permitem garantir um nível de controlo de qualidade elevado reduzindo, significativamente, a margem para a ocorrência do erro humano.

Apesar de ambas as ferramentas terem significados distintos, as soluções que foram sugeridas para a resolução dos problemas de qualidade encaixam-se em parte na definição de ambas. Uma parte porque as soluções implementadas vão impedir a ocorrência de defeitos, detetando possíveis erros cometidos (*Poka-Yoke*), mas o facto de essa deteção ser *autonomatizada*, pois a deteção é efetuada por câmaras de visão e validada automaticamente pelo sistema alertando apenas o operador caso seja encontrado algum erro, também se encaixa na definição de sistema *Jidoka*. Pegando num exemplo de uma das ferramentas sugeridas, que se encaixa mais num exemplo de *Poka-Yoke*, temos a utilização do novo suporte implementado no carrinho que irá ser utilizado para a colocação dos anti-cortes. Como existem três tubos dois deles mais pequenos e um deles maior, o sistema vai permitir ao operador perceber que tem de colocar os anti-cortes no suporte e que têm de ser colocados dois anti-cortes pequenos e um grande. Um dos exemplos sugeridos que melhor se poderá encaixar na definição de

um sistema *Jidoka*, será o teste de visão para detetar a presença e correta posição dos clips no bloco hidráulico. Este sistema executa a tarefa de modo automático alertando apenas o operador caso seja detetado algum defeito.

As soluções que foram propostas neste projeto foram apresentadas à direção da empresa que aceitou e apoiou vivamente todo o projeto mas devido, aos resultados que implicavam, ou seja eliminar as duas auditoras da linha, a fase de implementação do projeto foi adiada até se garantir que ambas as operadoras tinham uma outra função a desempenhar na empresa. Toda a equipa trabalhou em prole de conseguir realocar as duas operadoras considerando, porém, que por motivos de saúde, as funções que estas poderiam desempenhar estavam, de algum modo, limitadas. Só após encontrada uma solução para a realocação das auditoras é que se iniciou o contacto com os fornecedores que iriam desenvolver as soluções propostas. Os contactos com fornecedores para o desenvolvimento de todas as ferramentas propostas neste projeto foram efetuados, bem como a elaboração de toda a documentação necessária à colaboração destes com a Bosch Termotecnologia, S.A. Devido também à disponibilidade destes as soluções propostas não foram implementadas até à data da conclusão do projeto, no entanto esta implementação e devida estabilização continua a ser seguida por toda a equipa que acompanhou o projeto desde a sua origem.

É esperado que todas as soluções, *Poka-Yoke* e *Jidoka*, propostas para a resolução dos modos de falha tenham resultados positivos e, o facto de a maioria destas soluções serem validadas pelo sistema informático, permite manter o controlo rigoroso que é exigido pelos clientes. A validação da execução das tarefas por parte do sistema informático leva à impossibilidade do operador se esquecer de desempenhar a tarefa. Como tal, espera-se conseguir reduzir a ocorrência de modos de falha de 2.06% para um valor de 0.30%, apenas contabilizando a implementação de melhorias nas sete tarefas a que o projeto inicialmente se propôs. Para além destas sete tarefas ao longo do desenvolvimento do projeto foram melhoradas mais quatro, o que permite reduzir o valor esperado de ocorrência de defeitos para menos de 0.30%, valor já abaixo do objetivo a que o projeto se comprometeu de 0.35% que eram exigidos. Assim consegue-se garantir a qualidade da montagem sem recurso à Auditoria Avançada.

Com a implementação final deste projeto prevê-se um ganho de pelo menos 1.76% de eficiência na S875 devido à diminuição da ocorrência de defeitos na montagem. Só com a diminuição de dois operadores na linha, a eficiência da Bosch Termotecnologia, S.A., é aumentada em 0.30% o que representa um ganho de 30.000€ anuais, não estando

contabilizados neste valor os ganhos que se terão com a diminuição de tempo de retrabalho que se obtém devido à diminuição da produção de caldeiras com defeito.

4.2 - Passos futuros

Para a finalização do projeto falta o acompanhamento da fase de implementação e de monitorização. Após finalizado todo o projeto e observando o que se espera que sejam resultados bastantes positivos, estas soluções podem ser transversais a tarefas quer da mesma secção quer de outras. O investimento que é necessário para a criação destas soluções (principalmente os sistemas de visão) é elevado e portanto estas podem ser implementadas em linhas cuja taxa de rejeição de produtos seja bastante elevada de modo a conseguir rapidamente um retorno do investimento.

Em jeito de conclusão, e no âmbito da filosofia da melhoria contínua, verificou-se com este projeto que a procura por fontes de desperdício é, de facto, primordial para o ganho de vantagem competitiva, através do melhoramento dos processos internos nos locais onde esses desperdícios são detetados. É, portanto, necessário encontrar as causas-raiz de cada problema para que se consiga prevenir os seus efeitos. Para a resolução de problemas de qualidade em processos, o uso de *Poka-Yokes* e sistemas *Jidoka* revela-se bastante útil, uma vez que facilitam a prevenção do erro humano.

Bibliografia

Bosch Termotecnologia, S.A. Intranet (2016), Acesso: 16 de Janeiro de 2016

Bosch Portugal (2016), http://www.bosch.pt/pt/pt/our_company_10/our-company-lp.html, Acesso: 21 de Maio de 2016

Bosch Termotecnologia. (Março de 2016). *Catálogo*. Obtido de Vulcano: http://www.vulcano.pt/consumidor/productos/catalogo/producto_27840, Acesso: 21 de Maio de 2016

Chrysler Corporation; Ford Motor Company; General Motors Corporation, (1993), "Potencial Failure Mode And Effects Analysis (FMEA) - Reference Manual"

Coimbra, Euclides A. (2013), "*Kaizen in Logistics and Supply Chains*", 9ª Edição, McGraw Hill Education

Emre Berk, Ayhan Ozgur Toy (2009), "*Quality Control Chart Design Under Jidoka*", Wiley InterScience

Grupo Bosch (2016), Relatório Anual de 2015, http://www.bosch.pt/pt/pt/newsroom_11/publications_9/publications.html, Acesso: 21 de Maio de 2016

IBM (2016), http://www.ibm.com/developerworks/br/bpm/bpmjournal/1308_col_schume/, Acesso: 16 de Maio de 2016

Imai, M. (1997), "*Gemba Kaizen*", Nova Iorque: McGraw-Hill

Instituto Lean Management (2015), "*Documentación del Lean Practitioner*"

Liker, Jeffrey K. (2004), "*The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*", Nova Iorque: McGraw-Hill

M. Dudek-Burlikowska, D. Szewieczek (2009), "*The Poka-Yoke method as an improving quality tool of operations in the process*", *Jornal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, Volume 36

M. Sokovic, D. Pavletic, K. Kern Pipan (2010), "*Quality Improvement Methodologies – PDCA Cycle, RADAR Matrix, DMAIC and DFSS*", *Jornal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, Volume 43

Ohno, T. (1988), "*Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production*". Productivity Press, USA

Pierre Masai, Pierre Parrend, Cecilia Zanni-Merk (2015), "*Towards a Formal Model of the Lean Enterprise*", 19th International Conference on Knowledge Based and Intelligent Information and Engineering Systems

Puvanasvaran, A.P., N. Jamibollah and N. Norazlin (2014), "*Integration of Poka Yoke into Process Failure Mode and Effect Analysis: A case study*", American Journal of Applied Sciences 11 (8)

Ronald Moen, Clifford Norman (2006), "*Evolution of the PDCA Cycle*" http://pkpinc.com/files/NA01_Moen_Norman_fullpaper.pdf, Acesso: 19 de Maio de 2016

Shigeo Shingo (1986), "*Zero Quality Control: Source Inspection and the Poka-Yoke System*", MA: Productivity Press

Shimbun, Nikkan K. (1988), "*Poka-Yoke: Improving Product Quality by Preventing Defects*", Productivity Press

Wieslaw Urban (2015), "*The Lean Management Maturity Self-Assessment Tool Based on Organizational Culture Diagnosis*", 20th International Scientific Conference Economics and Management

Womack, James P., Jones, Daniel T. (2003), "*Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*", 2ª edição, Nova Iorque: Productivity Press

Yasuhiro Monden (2012), "*Toyota Production System: An Integrated Approach to Just-In-Time*" 4th Edition, Taylor and Francis Group

Anexos

Anexo A – Folha de inspeção visual no posto

**BOSCH**From
AvP/MOE

Our Reference

Tel

Aveiro

01 August 2015

Requirements specification

Recipient

Cc

Topic **Inspeções visuais CDI compact****NOVA
INSPEÇÃO
VISUAL!**

nr. série da caldeira

Posto	Item	Confirmação de operação
P12	<ul style="list-style-type: none">Número de Identificação de tubo 321: _____Existência e correta montagem / posição de clips HU1Existência e correta montagem / posição de clips de tubo retornoExistência e correta montagem / posição de clips de tubo entrada água	
P21	<ul style="list-style-type: none">Existência e correta posição do restritor no tuboExistência e correta posição da válvula anti-retorno	
P23	<ul style="list-style-type: none">Existência e correta posição de clips HU1	
P41	<ul style="list-style-type: none">Existência da porca plástica de aperto da WB7	
P60	<ul style="list-style-type: none">Fixação cabo da bombaFixação cabo do ventiladorFixação do cabo da turbinaFixação do fio terra ventilador e suporte inferiorFixação do cabo de ionização no eletrodo	
P70	<ul style="list-style-type: none">Posição do NTC nos dois tubos de cobre de acordo com IVFixação do fio terra ventilador e suporte inferiorPosição do tubo de manómetroCorreta ligação do transformador igniçãoCorreto aperto da porca tubo gás borrachaExistência de 3 proteções anticorteExistência de etiqueta no bloco hidráulico	



BOSCH

From
AvP/MOE

Our Reference

Tel

Aveiro

01 August 2015

Requirements specification

Inspeções visuais CDI compact

P80	<ul style="list-style-type: none">Existência tubo entrada ar e borracha branca do ventiladorPosição do NTC nos dois tubos de cobre de acordo com IVExistência da etiqueta nas costas da eletrónicaExistência de selo e tinta de ensaiador	
P81	<ul style="list-style-type: none">Existência de peça laranja de tamponamentoExistência de filtro de água no tubo de entrada	
P101	<ul style="list-style-type: none">Existência do o-ring no vaso expansãoExistência de barra inferior	

AvP/MOE

Anexo B – Acompanhamento mensal dos defeitos (Auditoria Avançada)

